

PROPOSTA DE UM MODELO DE INTEGRAÇÃO QFD/TRIZ PARA A OTIMIZAÇÃO
SISTEMÁTICA DE REQUISITOS DE ENGENHARIA: UMA APLICAÇÃO AO
DESENVOLVIMENTO DE MUNIÇÃO PARA O EXÉRCITO BRASILEIRO

Vinicius Motta de Oliveira

Dissertação de Mestrado apresentada
ao Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Produção, COPPE, da
Universidade Federal do Rio de Janeiro,
como parte dos requisitos necessários à
obtenção do título de Mestre em
Engenharia de Produção.

Orientador: Ricardo Manfredi Naveiro

Rio de Janeiro

Junho de 2017

PROPOSTA DE UM MODELO DE INTEGRAÇÃO QFD/TRIZ PARA A OTIMIZAÇÃO
SISTEMÁTICA DE REQUISITOS DE ENGENHARIA: UMA APLICAÇÃO AO
DESENVOLVIMENTO DE MUNIÇÃO PARA O EXÉRCITO BRASILEIRO

Vinicius Motta de Oliveira

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO LUIZ COIMBRA DE
PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA (COPPE) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO
DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE
MESTRE EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO.

Examinada por:

Prof. Ricardo Manfredi Naveiro, D. Sc.

Prof. Jorge Roberto Lopes dos Santos, PhD

Prof. Édison Renato Pereira da Silva, D. Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

JUNHO DE 2017

Oliveira, Vinicius Motta de

Proposta de um modelo de integração QFD/TRIZ para a otimização sistemática de requisitos de engenharia: uma aplicação ao desenvolvimento de munição para o Exército Brasileiro / Vinicius Motta de Oliveira – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2017.

XIII, 140 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Ricardo Manfredi Naveiro

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia de Produção, 2017.

Referências Bibliográficas: p. 115-121.

1. Processo de Desenvolvimento de Produto. 2. Desdobramento da Função Qualidade. 3. Teoria da Solução Inventiva de Problemas. I. Naveiro, Ricardo Manfredi. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia de Produção. III. Título.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a todos os engenheiros, inventores e criadores que, através da superação das contradições e limitações técnicas, promovem a evolução tecnológica em direção à idealidade, contribuindo, tijolo por tijolo, com a construção da civilização humana.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, inicialmente, aos meus amados familiares. Aos meus pais Francisco e Irene, que me proporcionaram, à custa de muito sacrifício, a oportunidade de estudar para ser um cidadão mais consciente e um ser humano melhor. À minha esposa Simone, que sempre me apoiou de forma incondicional e que tanto sentiu a minha ausência nesse período de intensos estudos. Ao meu precioso filho Antônio, razão maior da minha vida. Às minhas irmãs Andressa e Cássia, amigas de toda hora, e à querida Ceíça, sempre disposta a ajudar.

Agradeço ao meu orientador, professor Ricardo Manfredi Naveiro, pelas instruções fundamentais para a realização desta dissertação de mestrado, bem como aos funcionários e professores do Programa de Engenharia de Produção da COPPE com quem tive a oportunidade de trabalhar nesse período.

Agradeço ainda aos amigos e colegas de profissão que, de alguma forma, me ajudaram nessa jornada, em especial ao Major Milanezi e aos tenentes-alunos do Curso de Graduação do IME que participaram da pesquisa de avaliação de requisitos de usuário tão importante para a consecução desta dissertação. Ainda, à equipe da Fábrica de Juiz de Fora da IMBEL que sempre respondeu de forma solícita às minhas dúvidas técnicas, em especial aos oficiais Coronel Áureo, Major Marcos Paulo e Capitão Passon.

Finalmente, agradeço ao Exército Brasileiro a oportunidade de realizar este curso de mestrado, na expectativa de poder contribuir de forma significativa com o desenvolvimento tecnológico da instituição e do país.

*“O mundo é infinito, o universo é inesgotável, e
o cérebro humano nunca será ameaçado pelo
desemprego”*

(Genrich S. Altshuller)

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

PROPOSTA DE UM MODELO DE INTEGRAÇÃO QFD/TRIZ PARA A OTIMIZAÇÃO
SISTEMÁTICA DE REQUISITOS DE ENGENHARIA: UMA APLICAÇÃO AO
DESENVOLVIMENTO DE MUNIÇÃO PARA O EXÉRCITO BRASILEIRO

Vinicius Motta de Oliveira

Junho/2017

Orientador: Ricardo Manfredi Naveiro

Programa: Engenharia de Produção

O desenvolvimento de um novo produto requer a definição das características necessárias ao desempenho de suas funções. Tais características são expressas através de requisitos que devem refletir não apenas os anseios dos usuários, mas também as possíveis tendências evolutivas da tecnologia subjacente ao produto. Propõe-se, por conseguinte, um modelo de otimização sistemática de requisitos de engenharia calcado em uma integração de dois níveis dos métodos **Desdobramento de Função Qualidade (QFD)** e **Teoria da Solução Inventiva de Problemas (TRIZ)**. No primeiro nível, as capacidades prospectivas de ambos os métodos são utilizadas para identificar os requisitos do produto em desenvolvimento a partir da análise de documentos de registro de patente e submeter tais requisitos à avaliação de usuários quanto à relevância das características por eles determinadas. No segundo nível, a Matriz de Contradição da TRIZ é utilizada para eliminar as contradições técnicas existentes entre os requisitos através da proposição de soluções com base em princípios inventivos, de forma a ensinar a concepção do produto. A pesquisa consiste em Estudo de Caso no qual o modelo proposto é aplicado no desenvolvimento de novo conceito de munição de morteiro para o Exército Brasileiro.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

PROPOSAL OF A QFD/TRIZ INTEGRATION MODEL FOR ENGINEERING REQUIREMENTS
SYSTEMATIC OPTIMIZATION: AN APPLICATION ON AMMUNITION DEVELOPMENT FOR
THE BRAZILIAN ARMY

Vinicius Motta de Oliveira

June/2017

Advisor: Ricardo Manfredi Naveiro

Department: Production Engineering

The development of a new product requires the definition of the features needed by the functions the product is planned to perform. Such features are expressed by requirements which must reflect not only the users wishes, but also the evolutionary trends of the product underlying technology. Therefore, it's proposed an engineering requirements systematic optimization model based on a two-level integration of the methods **Quality Function Deployment** (QFD) and **Theory of Inventive Problem Solving** (TRIZ). At the first level, the prospective capabilities of both methods are used to identify the developing product requirements and submit them to users in order to evaluate the importance of the features they express. At the second level, the Contradiction Matrix is used to withdraw the technical contradictions between requirements through the proposition of solutions based on inventive principles in order to enable the product conception. The research is a Case Study in which the proposed model is applied to the development of a new mortar ammunition concept for the Brazilian Army.

SUMÁRIO

1. Introdução	1
1.1. Apresentação	1
1.2. Motivação.....	1
1.3. Justificativa	2
1.4. Questão de Pesquisa	4
1.5. Objetivos	6
1.5.1. Objetivo Geral.....	6
1.5.2. Objetivos Específicos	6
1.6. Estrutura do Trabalho	6
2. Metodologia de Pesquisa	8
2.1. Definição de Estrutura Teórico-Conceitual	9
2.2. Planejamento de Caso.....	15
2.2.1. Mapeamento de Documentos de Registro de Patente	15
2.2.2. Obtenção da “Voz do Cliente”	16
3. Desdobramento da Função Qualidade (QFD)	18
3.1. Características Gerais	18
3.2. Casa da Qualidade	19
4. Teoria da Solução Inventiva de Problemas (TRIZ)	24
4.1. Características Gerais	24
4.2. Processo Sistemático de Inovação	26
4.3. Sistema Técnico Ideal	30
4.4. Contradição Técnica	31
4.5. Leis de Evolução Tecnológica	33
5. Integração entre QFD e TRIZ no Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP)..	40
5.1. O Projeto Conceitual no PDP	40
5.2. Integração entre QFD e TRIZ	43
5.3. Modelo de Otimização Sistemática de Requisitos de Engenharia	47
6. Desenvolvimento Conceitual de Munição de Morteiro	52
6.1. Munição de Morteiro	52
6.2. Seleção de Documentos de Registro de Patente	56

6.3. Identificação de Requisitos	60
6.4. Valoração de Requisitos	68
6.5. Identificação de Contradições Técnicas	89
6.6. Eliminação de Contradições Técnicas.....	93
6.7. Definição de Conceito de Produto	102
7. Discussão de Resultados	112
8. Conclusões	115
Referências Bibliográficas	119
Apêndice A	126
Apêndice B	127
Apêndice C	134
Apêndice D	141

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema de Modelo de Integração QFD/TRIZ.....	5
Figura 2 – Diagrama da Casa da Qualidade	20
Figura 3 – Estrutura básica completa do QFD	23
Figura 4 – Diagrama do método de tentativa e erro.....	26
Figura 5 – Esquema de Curva S	35
Figura 6 – Relação entre a Curva S e a atividade inventiva	36
Figura 7 – Esquema de matriz de seleção conceitual.....	41
Figura 8 – Sinergia entre QFD e TRIZ	46
Figura 9 – Protocolo de Otimização Sistemática de Requisitos de Engenharia.....	50
Figura 10 – Esquema de trajetórias de sistemas balísticos	53
Figura 11 – Esquema de morteiro	54
Figura 12 – Esquema de munição de morteiro e seus principais componentes	54
Figura 13 – Esquema de solução conforme o requisito técnico RT02.....	72
Figura 14 – Esquema de solução conforme o requisito técnico RT03 com carga de propulsão adicional	72
Figura 15 – Esquema de solução conforme o requisito técnico RT03 sem carga de propulsão adicional	73
Figura 16 – Esquema de solução conforme o requisito técnico RT09.....	74
Figura 17 – Esquema de solução conforme o requisito técnico RT10.....	75
Figura 18 – Esquema de solução conforme o requisito técnico RT11.....	76
Figura 19 – Esquema de solução conforme o requisito técnico RT12.....	76
Figura 20 – Esquema de solução conforme o requisito técnico RT15.....	78
Figura 21 – Esquema de solução conforme o requisito técnico RT16.....	79
Figura 22 – Esquema de solução conforme o requisito técnico RT17	80
Figura 23 – Esquema de solução conforme o requisito técnico RT18.....	80
Figura 24 – Esquema de solução conforme o requisito técnico RT19.....	81
Figura 25 – Esquema de solução conforme o requisito técnico RT20.....	82
Figura 26 – Esquema de solução conforme o requisito técnico RT21.....	83
Figura 27 – Esquema de solução conforme o requisito técnico RT22.....	83
Figura 28 – Esquema de solução conforme o requisito técnico RT23.....	84

Figura 29 – Esquema de solução conforme os requisitos técnicos RT24, RT25 e RT26 .	85
Figura 30 – Esquema de solução conforme o requisito técnico RT27	85
Figura 31 – Esquema de solução conforme o requisito técnico RT28.....	86
Figura 32 – Esquema de solução conforme o requisito técnico RT32.....	88
Figura 33 – Esquema de solução conforme o requisito técnico RT33.....	88
Figura 34 – Matriz de correlação entre requisitos	89
Figura 35 – Matriz de interação entre requisitos técnicos.....	90
Figura 36 – Matriz de seleção conceitual	105
Figura 37 – Vista interna do conceito de munição de morteiro.....	110
Figura 38 – Vista externa do conceito de munição de morteiro	110

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Artigos acadêmicos recuperados da base de dados CAPES	12
Tabela 2 – Artigos acadêmicos recuperados da base de dados <i>Science Direct</i>	13
Tabela 3 – Níveis de soluções inventivas.....	27
Tabela 4 – Quantidade de documentos de registro de patente selecionados.....	58
Tabela 5 – Identificação de documentos de registro de patente selecionados	59
Tabela 6 – Documentos de registro de patente e requisitos correspondentes	60
Tabela 7 – Requisitos técnicos	65
Tabela 8 – Requisitos de usuário.....	67
Tabela 9 – Valoração de requisitos de usuário.....	69
Tabela 10 – Correlação entre requisitos	69
Tabela 11 – Requisitos técnicos com interação negativa não contraditória	90
Tabela 12 – Requisitos técnicos com interação negativa contraditória	91
Tabela 13 – Requisitos técnicos e contradições técnicas.....	92
Tabela 14 – Requisitos técnicos originais e derivados	101
Tabela 15 – Requisitos técnicos definidores do conceito de referência	103
Tabela 16 – Requisitos técnicos definidores do conceito de produto	108

1. Introdução

1.1. Apresentação

Desde tempos remotos, o desenvolvimento tecnológico esteve atrelado à expansão das atividades humanas através do advento de meios que possibilitaram o domínio dos fatores naturais. Neste contexto, o desenvolvimento da tecnologia bélica lançou as bases para as subseqüentes configurações sociais que o mundo experimentou desde que as primeiras civilizações começaram a se estruturar. A história humana, portanto, certifica a importância do conhecimento tecnológico no âmbito bélico como um fator chave para a preservação dos diversos grupos humanos, bem como de suas identidades culturais e do acesso aos recursos necessários à sua sobrevivência.

Atualmente, entretanto, o acesso a conhecimentos específicos que garantam a independência tecnológica de uma nação é ainda mais premente em função do avançado grau de desenvolvimento que determinadas nações possuem em relação às demais. Este cenário de profunda disparidade no que tange ao domínio da tecnologia bélica fundamenta a necessidade de aprimoramento do arcabouço técnico-científico da indústria brasileira de defesa através do desenvolvimento sistemático de produtos em busca dos mais elevados padrões de qualidade e produtividade praticados no mundo.

Este trabalho propõe um modelo de otimização sistemática de requisitos de engenharia que suporte o desenvolvimento de produtos. Em particular, o aprimoramento tecnológico das munições de morteiro utilizadas pelo Exército Brasileiro representa um grande avanço para a Engenharia Militar nacional.

1.2. Motivação

A Indústria de Material Bélico do Brasil (IMBEL), empresa pública federal de direito privado vinculada ao Ministério da Defesa por meio do Comando do Exército Brasileiro, integra a Base Industrial de Defesa (BID), um sistema nacional de abastecimento de produtos de emprego militar que constitui um dos três eixos estruturantes da Estratégia Nacional de Defesa (END), ao lado da reorganização das Forças Armadas e da recomposição do efetivo militar. A BID visa assegurar ao Brasil uma indústria bélica forte que possibilite o domínio da tecnologia com a qual são produzidos

os equipamentos militares, além de permitir uma rápida mobilização industrial em caso de necessidade, uma vez que a especificidade de produtos e processos produtivos pode dificultar uma adaptação repentina do parque industrial brasileiro.

O fomento à indústria bélica nacional refletiu-se na IMBEL na forma de investimentos do governo federal para a modernização de sua capacidade produtiva, abarcando não somente a aquisição de novos equipamentos, como projetos de desenvolvimento de novos produtos, alguns dos quais tive a oportunidade de participar na Fábrica de Juiz de Fora, unidade da IMBEL responsável pela fabricação de munições de grosso calibre e cujo principal cliente é o Exército Brasileiro. Tais atividades causaram-me a percepção de que os projetos de engenharia constituem problemas complexos para os quais não há soluções simples ou expeditas, uma vez que demandam requisitos implícitos cuja omissão provoca efeitos deletérios de natureza técnica, os quais, por sua vez, desencadeiam efeitos secundários de cunho financeiro e temporal.

Dessa forma, faz-se mister a estruturação de um mecanismo de identificação de requisitos no âmbito de projetos complexos de engenharia, quer sejam relativos a produtos ou processos. A necessidade de conhecimento específico que atenda à demanda por um processo de inovação mais eficiente e eficaz no âmbito do Exército Brasileiro resultou nesta dissertação, que pretende contribuir com o seu braço fabril, representado pela IMBEL, de forma a prover o atendimento adequado da própria Força Terrestre, bem como das Forças Armadas em geral, em sua demanda por material de emprego militar dentro dos requisitos de qualidade estabelecidos. A motivação maior, portanto, reside em contribuir para a garantia da independência tecnológica necessária ao exercício do poder de dissuasão bélica do Brasil.

1.3. Justificativa

O sucesso empresarial traduzido em lucratividade pode advir do aumento de faturamento ou da redução de custos. Em ambos os casos, a atividade de inovação modifica os parâmetros de qualidade e produtividade necessários para o máximo atendimento das demandas de mercado mediante o mínimo consumo de recursos. Neste contexto, o desenvolvimento de um produto a partir de uma ideia inicial genérica demanda decisões que viabilizem a sua inserção no mercado e no sistema produtivo,

pois tal produto deve refletir os anseios explícitos ou implícitos dos clientes, mas também ser produzido a um custo competitivo e ser entregue tempestivamente.

Embora a maior parte das decisões possa ser tomada com base em experiências individuais ou de equipes multifuncionais de projetistas, há decisões críticas que requerem a sistematização do processo de seleção de requisitos. Essas decisões determinam o sucesso ou fracasso do produto e, portanto, o esforço dispendido nas etapas iniciais de desenvolvimento de um produto evita uma perda ainda maior de recursos decorrente de correções posteriores.

A otimização sistemática de requisitos de engenharia visa aumentar a eficiência e a eficácia do processo de inovação, na medida em que reduz o tempo de desenvolvimento de produtos e aumenta a precisão dos atributos de qualidade ao tornar mais rigorosa a seleção de requisitos. Neste contexto, a integração de métodos de otimização sistemática de requisitos implica em uma estratégia de inovação que seja capaz de identificar as necessidades do mercado e prever as potenciais tendências de evolução tecnológica. Essas abordagens são complementares na medida em que estruturam uma estratégia de inovação robusta capaz de identificar tanto possibilidades de inovação incremental, no primeiro caso, quanto de inovação radical, no segundo.

São apresentadas duas abordagens metodológicas que podem ser utilizadas para a otimização sistemática de requisitos no Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP), sendo elas o Desdobramento da Função Qualidade (QFD) e a Teoria da Solução Inventiva de Problemas (TRIZ).

A utilização do QFD se justifica pela sua capacidade de apreender as necessidades do cliente através de sua expressão subjetiva e, a partir desta, apontar requisitos técnicos que coadunem com tais demandas, podendo estes serem relativos ao desempenho, projeto e fabricação do produto. Dessa forma, o método proporciona a rastreabilidade necessária para que todas as decisões referentes ao desenvolvimento do produto, desde a sua concepção até a sua inserção no sistema produtivo, estejam lastreadas nos anseios de mercado, o que aumenta a aceitação do produto pelo usuário.

A utilização da TRIZ se justifica pela sua capacidade de antever os possíveis padrões de evolução das tecnologias subjacentes ao produto, de forma a antecipar modificações com maior possibilidade de sucesso. Os padrões de evolução tendem a levar o sistema tecnológico original a um estado ideal, no qual a sua função é exercida

sem meios físicos de qualquer natureza, ou seja, um estado em que a finalidade do sistema é atendida de forma plena sem a necessidade de recursos. Por considerar a existência de contradições técnicas como barreiras para o alcance do sistema ideal, a TRIZ apresenta um arcabouço ferramental capaz de resolver eventual conflito ou *trade-off* entre os requisitos técnicos, no qual a melhoria em um aspecto do produto implica na deterioração de outro.

A integração dos métodos QFD e TRIZ se justifica pela capacidade prospectiva de ambos com relação, respectivamente, aos produtos cujas funcionalidades atendam às demandas de mercado e às tecnologias que ensejam tais funcionalidades. Assim, tal integração consiste em uma ferramenta poderosa de desenvolvimento de produtos inovadores, uma vez que a sinergia entre ambos os métodos permite conjugar as demandas subjetivas dos clientes com a previsão evolutiva do sistema tecnológico segundo critérios objetivos. Busca-se, portanto, definir o conceito final do produto através da otimização do processo de seleção de requisitos.

Por fim, a aplicação do modelo integrado ao desenvolvimento de munição de morteiro se justifica por ser este um produto que requer a conjugação de características como simplicidade, leveza e baixo custo com alta eficácia de cobertura, alta eficiência de disparo e letalidade. Trata-se, portanto, de um produto que demanda características potencialmente antagônicas, o que constitui relevante óbice para o processo de inovação.

1.4. Questão de Pesquisa

A questão de pesquisa consiste na verificação da aplicabilidade de um modelo de otimização sistemática de requisitos de engenharia calcado na integração dos métodos QFD e TRIZ no desenvolvimento de soluções conceituais no âmbito do PDP. O modelo proposto visa identificar os requisitos técnicos de produto, sob uma perspectiva conceitual, a partir das tendências evolutivas do sistema tecnológico e das necessidades do usuário. Busca-se, portanto, verificar se o modelo proposto é capaz de gerar um conceito de produto a partir da integração de distintas abordagens de apreensão de requisitos, o que é feito através da sua implementação, no caso concreto, no âmbito do desenvolvimento de um novo conceito de munição de morteiro.

O modelo proposto é estruturado a partir da integração entre QFD e TRIZ em dois níveis. No primeiro nível de integração, ambos os métodos são empregados paralelamente de forma a obter os requisitos técnicos através da incorporação da capacidade prospectiva da TRIZ com relação à previsão da evolução do sistema tecnológico e da capacidade prospectiva do QFD no que se refere à apreensão da demanda de mercado. Dessa forma, os requisitos técnicos e os requisitos de usuário por eles atendidos são definidos a partir da identificação das possíveis tendências evolutivas da tecnologia subjacente ao produto em direção à sua idealidade através de registros em documentos de patentes. Em seguida, a valoração dos requisitos permite identificar os requisitos técnicos mais relevantes para a satisfação das demandas consubstanciadas nos requisitos de usuário, bem como quais destes são mais relevantes para o mercado. No segundo nível de integração, novos requisitos técnicos são gerados a partir da solução das eventuais contradições entre os requisitos técnicos através das ferramentas da TRIZ constantes da matriz de contradição, nomeadamente os parâmetros de engenharia e os princípios inventivos. Por fim, a concepção do produto é realizada através da integração dos requisitos técnicos, consideradas as capacidades de satisfação das demandas de utilização do produto, bem como quais destas são mais importantes para o usuário. A figura 1 apresenta um esquema da estrutura do modelo de integração QFD/TRIZ proposto.

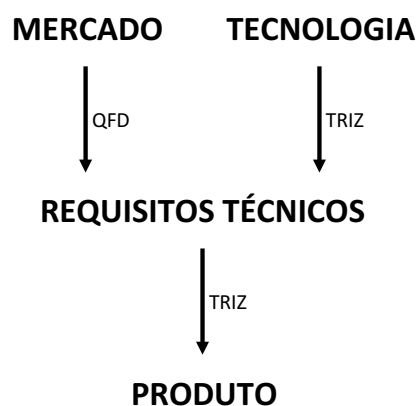


Figura 1 – Esquema de Modelo de Integração QFD/TRIZ.
Fonte: Autor.

O modelo pretende, portanto, identificar os requisitos técnicos a partir das perspectivas de tecnologia e de mercado, bem como eliminar os conflitos existentes entre tais requisitos de forma a gerar um conceito de produto.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo Geral

O objetivo geral do trabalho consiste na proposição de modelo de otimização sistemática de requisitos de engenharia que suporte o desenvolvimento de produtos calcado na integração entre as ferramentas de identificação das necessidades do cliente do método QFD e de geração de requisitos técnicos e evolução tecnológica do método TRIZ.

1.5.2. Objetivos Específicos

Os objetivos específicos a serem atingidos de forma a atender o objetivo geral supra são os seguintes:

- Identificar o viés prospectivo da TRIZ como fundamento da extração de requisitos a partir de documentos de patentes;
- Identificar a Casa da Qualidade do QFD como ferramenta de valoração de requisitos e identificação de conflitos;
- Identificar a Matriz de Contradição da TRIZ como ferramenta para a solução de contradições técnicas;
- Apresentar o Modelo de Otimização Sistemática de Requisitos de Engenharia com base na integração das ferramentas identificadas;
- Validar o modelo proposto através de sua aplicação ao desenvolvimento conceitual de munição de morteiro.

1.6. Estrutura do Trabalho

O presente trabalho é dividido em cinco partes, abarcando a introdução no capítulo 1, a metodologia de pesquisa no capítulo 2, a revisão teórica nos capítulos 3, 4

e 5, o desenvolvimento conceitual de munição de morteiro no capítulo 6, e a conclusão no capítulo 7. Os capítulos referentes à revisão teórica compreendem a exposição dos métodos QFD e TRIZ, respectivamente nos capítulos 3 e 4, bem como a integração de ambos no âmbito do PDP no capítulo 5. A implementação do modelo proposto é feita no capítulo 6, juntamente com a apresentação das características técnicas gerais da munição de morteiro, objeto de aplicação do modelo proposto.

2. Metodologia de Pesquisa

A metodologia de pesquisa consiste em **Estudo de Caso**, no qual o modelo de otimização sistemática de requisitos de engenharia calcado na integração QFD/TRIZ é construído indutivamente através da sua aplicação no âmbito do desenvolvimento conceitual de munição de morteiro para o Exército Brasileiro. Além disso, a estrutura metodológica utiliza, de forma subsidiária, uma ferramenta própria de Levantamento *Survey*¹ para a obtenção de informações atinentes ao método QFD através do uso de questionário como instrumento de coleta de dados, o qual foi submetido aos potenciais usuários do sistema ao qual o modelo proposto é aplicado.

O Estudo de Caso consiste em um trabalho de caráter empírico que investiga determinado fenômeno dentro de um contexto real através da análise de um ou mais objetos. Tal análise permite amplo e detalhado conhecimento sobre o fenômeno e possibilita, inclusive, a geração de teoria. Para tanto, a definição da abrangência e da profundidade da pesquisa depende da questão formulada, pois deve estar associada à identificação de lacunas de literatura que ensejem a proposição de soluções. A adoção da metodologia, portanto, deve atender à questão e ao objetivo de pesquisa de forma a proporcionar uma contribuição investigativa de caráter teórico ou empírico. Nesse sentido, o contexto real do desenvolvimento de munição de morteiro possibilita um refinamento da teoria atinente ao desenvolvimento de produtos e, em particular, à integração QFD/TRIZ, uma vez que esta pode ser estruturada à luz das observações recolhidas, bem como ter seus limites de aplicação definidos no caso concreto (CAUCHICK MIGUEL & SOUSA, 2012).

A condução do estudo de caso é estruturada através de sequenciamento de etapas que se inicia com a **definição da estrutura teórico-conceitual** através de mapeamento da literatura atinente. Em seguida, o **planejamento do estudo de caso** seleciona as unidades de análise e escolhe os meios para a coleta e análise dos dados, incluindo o desenvolvimento de protocolo para a coleta de dados e a definição dos meios de controle da pesquisa. Após a etapa de **coleta dos dados**, a subsequente etapa de **análise dos dados** permite a construção de narrativa através da identificação de

¹ O Levantamento *Survey* consiste na avaliação de amostra significativa acerca de determinado problema a ser investigado com a finalidade de extrair conclusões atinentes ao problema em questão de forma a subsidiar uma generalização estatística.

relações de causalidade. Por fim, o conjunto das etapas anteriores permite a **geração do relatório da pesquisa** que contenha os resultados da pesquisa e que apresente a estrutura necessária para a sua replicação.

A aplicação prática do modelo teórico de integração QFD/TRIZ no desenvolvimento conceitual de munição de morteiro enseja uma *“pesquisa realmente importante [porque] inclui não apenas a dimensão teórica, mas também a dimensão prática, devendo a teoria ser considerada realmente interessante somente se tiver repercussões em ambos os níveis”* (FLEURY, 2012, p. 43, tradução do autor). Trata-se, portanto, de uma amostragem teórica que permite subsidiar uma generalização analítica, isto é, uma generalização dos casos para uma teoria de mais alto nível que se abstrai das especificidades dos casos (CAUCHICK MIGUEL & SOUSA, 2012).

2.1. Definição de Estrutura Teórico-Conceitual

A definição do problema de pesquisa permite a estruturação do modelo, o qual consiste em um artefato do pesquisador com forte relação com a teoria. Essa definição depende do estabelecimento de marco teórico a partir da revisão bibliográfica (MARTINS, 2012). Assim, a definição do referencial teórico-conceitual implica no mapeamento da literatura sobre o assunto de forma a localizar o tópico de pesquisa no contexto da literatura disponível sobre o tema e indicar como este é influenciado pelas fontes bibliográficas existentes. Além disso, a pesquisa bibliográfica permite identificar os trabalhos de caráter teórico e empírico, bem como as lacunas que permitem justificar a investigação científica. Por fim, o referencial teórico também é utilizado para delimitar as fronteiras da investigação científica, fundamentar a pesquisa e indicar o grau de evolução ou estado-da-arte do tema em estudo (CAUCHICK MIGUEL & SOUSA, 2012).

Em consonância com a questão de pesquisa formulada, o referencial teórico-conceitual é estruturado a partir da integração das ferramentas de identificação de requisitos de produto constantes dos métodos QFD e TRIZ e como estas se articulam com o processo de desenvolvimento de produto. Tais métodos foram escolhidos em função de suas capacidades intrínsecas de apoiar o processo decisório ao proporcionarem uma abordagem ampla que permite a apreensão das influências comercial e tecnológica na definição dos requisitos de produto. No que tange à

obtenção de requisitos técnicos de produto, a pesquisa identifica o substrato teórico que fundamenta, sob a perspectiva comercial, as ferramentas do método QFD que captam, selecionam e transformam os requisitos de cliente e, sob a perspectiva tecnológica, as ferramentas da TRIZ que identificam as tendências de evolução tecnológica. Já no contexto da geração de conceitos de produto a partir dos requisitos técnicos a pesquisa identifica o substrato teórico que fundamenta as ferramentas da TRIZ de eliminação de conflitos entre requisitos técnicos, bem como ferramentas de seleção de conceitos de produto.

O referencial teórico supracitado foi delineado através de revisão sistemática da literatura acadêmica atinente constante de sistema eletrônico de recuperação de informação, o qual amplia significativamente a qualidade das buscas bibliográficas ao proporcionar diversos pontos de acesso à informação (LOPES, 2002). Ainda, de acordo com Lopes (2002):

Esses sistemas possibilitam o planejamento de estratégias de busca com maior nível de complexidade envolvendo vários conceitos na mesma estratégia; permitem a utilização de busca de palavras apenas dos títulos e resumos dos documentos, isto é, termos da linguagem natural; buscam os termos específicos de linguagens controladas, nos campos de descritor; buscam por autores; por ano de publicação; por títulos de periódicos; por classificação; permitem, também, a busca de conceitos compostos ou simples e a possibilidade de truncagem de raízes de palavras e de substituição de caracteres no meio dos termos, dentre outros recursos de recuperação (LOPES, 2002, p. 01).

A estratégia de busca, no âmbito da recuperação da informação, pode ser definida como um conjunto de regras que torna possível o encontro entre uma pergunta formulada e a informação armazenada em uma base de dados cuja escolha depende de diversos fatores, tais como a abrangência de assunto e dos campos de busca disponibilizados em determinado banco de dados (LOPES, 2002).

Lopes (2002) sistematiza o processo de revisão de literatura através de etapas sucessivas que têm início com a definição do tópico geral da pesquisa. Em seguida, o pesquisador deve selecionar os termos que especificam o problema de forma a

assegurar a recuperação de todas as citações para vários termos. Neste contexto, a interseção de dois conjuntos de termos é desejável, devendo ser evitado o uso da interseção de mais de dois conjuntos de termos sob pena de se gerar resultados muito limitados com possível exclusão de informações relevantes. Assim, termos similares devem ser agrupados em um mesmo conjunto e, sucessivamente, os demais termos similares entre si devem ser agrupados em outros conjuntos até a obtenção da resposta solicitada. Por fim, a eliminação de resultados indesejáveis é feita através da especificação dos parâmetros relevantes para a execução da busca, tais como período de publicação ou a pertinência com relação ao tópico geral de pesquisa.

Conforme Leite & Silva (2013), o principal campo de busca de artigos científicos é o título e, portanto, a estratégia considerada no presente trabalho estabelece a busca por palavras-chaves no âmbito dos títulos dos artigos científicos através das bases de dados CAPES² e Science Direct. Ainda de acordo com Leite & Silva (2013), a busca de informações em bases de dados estruturadas pode ser otimizada através de recursos como os operadores booleanos AND, OR e NOT, os quais são utilizados para relacionar os termos de pesquisa de forma aditiva, optativa ou exclusiva, respectivamente, tendo sido utilizado apenas o primeiro operador. Além disso, o idioma utilizado foi o inglês e o período considerado foi de 10 anos.

Os critérios de seleção de artigos foram estabelecidos através de filtros capazes de delimitar artigos que coadunem com o modelo proposto, isto é, cuja abordagem envolva, exclusivamente, ambos ou apenas um dos métodos QFD e TRIZ e que apresentem aplicações a produtos. O primeiro filtro seleciona artigos que apresentem ferramentas específicas dos métodos QFD ou TRIZ, excluindo-se artigos que abarquem ferramentas de outros métodos, ainda que integradas a qualquer um dos primeiros. O segundo filtro seleciona artigos que versem sobre produto em sentido estrito, excluindo-se aplicações relativas a componentes, processos e operações³ de produção, bem como serviços ou quaisquer outras áreas.

O arcabouço teórico necessário para a obtenção de requisitos de produto sob a perspectiva comercial, isto é, a partir dos requisitos do mercado ou do cliente pelas

² Acrônimo para Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, fundação do Ministério da Educação do Brasil.

³ Além das operações de produção, em um sentido estrito, são excluídas operações relativas às atividades de apoio à produção, como manutenção e controle de qualidade.

ferramentas dispostas pelo método QFD, foi definido através da interseção do primeiro termo 'QFD' com o conjunto de termos '*product*' e '*requirements*'. Por sua vez, o arcabouço teórico necessário para a obtenção de requisitos de produto sob a perspectiva tecnológica, isto é, a partir da identificação das tendências evolutivas pelas ferramentas dispostas pelo método TRIZ, foi definido através da interseção do primeiro termo 'TRIZ' com o conjunto de termos '*product*', '*requirements*' e '*evolution*'. Por fim, o arcabouço teórico necessário para a obtenção de conceitos de produto a partir dos requisitos de produto através das ferramentas de solução de conflitos dispostas pelo método TRIZ, foi definido através da interseção do primeiro termo 'TRIZ' com o conjunto de termos '*product*', '*requirements*' e '*contradiction*'. Ainda, os artigos referentes à integração entre os métodos QFD e TRIZ são recuperados através da conjugação entre os termos 'QFD' e 'TRIZ', de forma a identificar os diferentes modelos de integração entre os métodos, bem como eventuais lacunas de pesquisa.

As tabelas 1 e 2 apresentam, respectivamente com relação às bases de dados CAPES e *Science Direct*, os termos relacionados e as quantidades de artigos recuperados para cada conjugação de termos, apresentando tanto a quantidade total quanto as quantidades remanescentes após a aplicação dos filtros de seleção subsequentes. A conjugação dos termos '*product*' e '*requirements*' com o termo 'TRIZ' foi realizada, para cada termo, uma única vez, apesar de gerar resultados aplicáveis tanto para a geração de requisitos de produto quanto para a solução de contradições entre eles.

Tabela 1 – Artigos acadêmicos recuperados da base de dados CAPES.

1º Termo	2º Termo	Total	1º Filtro	2º Filtro
QFD	<i>Product</i>	31	11	4
QFD	<i>Requirements</i>	11	6	3
TRIZ	<i>Product</i>	12	6	4
TRIZ	<i>Requirements</i>	0	0	0
TRIZ	<i>Evolution</i>	8	7	6
TRIZ	<i>Contradiction</i>	2	1	1
QFD	TRIZ	5	4	2

Fonte: Autor.

A aplicação da estratégia de busca à base de dados CAPES recuperou 69 artigos, dos quais 35 foram selecionados através do 1º filtro, o que representa 50,7% do total de artigos recuperados e aponta para um elevado potencial sinérgico dos métodos utilizados. O 2º filtro, por sua vez, selecionou 20 artigos, o que representa 29,0% do total de artigos recuperados.

Tabela 2 – Artigos acadêmicos recuperados da base de dados *Science Direct*.

1º Termo	2º Termo	Total	1º Filtro	2º Filtro
QFD	<i>Product</i>	9	3	2
QFD	<i>Requirements</i>	7	3	2
TRIZ	<i>Product</i>	23	15	6
TRIZ	<i>Requirements</i>	0	0	0
TRIZ	<i>Evolution</i>	10	9	8
TRIZ	<i>Contradiction</i>	4	3	1
QFD	TRIZ	0	0	0

Fonte: Autor.

A aplicação da estratégia de busca à base de dados *Science Direct* recuperou 53 artigos, dos quais 33 foram selecionados através do 1º filtro, o que representa 62,3% do total de artigos recuperados e também aponta para um elevado potencial sinérgico dos métodos utilizados. O 2º filtro, por sua vez, selecionou 19 artigos, o que representa 35,9% do total de artigos recuperados.

A exclusão dos artigos recuperados mais de uma vez reduziu a quantidade total de artigos recuperados para 32, considerando-se ambas as bases de dados. Deste total, 8 artigos apresentam casos de aplicação direta do QFD no desenvolvimento de produtos específicos através da valoração de requisitos pelos usuários. Além destes, Zhang *et al.* (2015), Nahm *et al.* (2013) e Hari *et al.* (2007) versam sobre o método QFD, mas especificamente acerca da utilização da ferramenta. No que se refere à TRIZ, 13 artigos versam sobre a sua aplicação no âmbito do desenvolvimento de produtos, dos quais 2 aplicam as ferramentas de eliminação de contradições técnicas em produtos específicos, e 11 aplicam as leis de evolução visando a identificação das possíveis

tendências evolutivas do sistema tecnológico subjacente ao produto. Apenas Yoon & Kim (2011) e Park *et al.* (2013) apresentam a utilização da TRIZ no âmbito da pesquisa com patentes, mas ambos versam também acerca de métodos de definição das possíveis tendências evolutivas. Ainda, 3 artigos versam sobre situações específicas de aplicação da TRIZ, como a definição de novos princípios inventivos atinentes a inovações no setor ambiental⁴ e biônico⁵, bem como a aplicação da TRIZ em situações de crise⁶ no desenvolvimento de produto, com escassos recursos financeiros e temporais. Por fim, apenas 3 artigos envolvem a aplicação da TRIZ para a otimização de requisitos obtidos a partir da avaliação de usuários. No entanto, apenas Yeh *et al.* (2011) e Melemez *et al.* (2013) utilizam, propriamente, o QFD, ou seja, estabelecem de forma explícita a integração entre QFD e TRIZ, sendo que Puspitarini *et al.* (2016) estabelece as especificações de produto através da avaliação de usuários, mas não se refere ao QFD. Todos, no entanto, apenas utilizam as ferramentas de eliminação de contradições técnicas da TRIZ para a resolução de conflitos advindos da integração entre os requisitos valorados pelos usuários, de forma que não foi identificado nenhum caso de integração entre QFD e TRIZ que utilizasse a capacidade prospectiva da TRIZ.

A análise da literatura acadêmica atinente identificou uma relevante lacuna no que diz respeito à integração entre QFD e TRIZ que não considere apenas os conflitos entre os requisitos valorados pelos usuários para a aplicação das ferramentas de solução de contradições técnicas da TRIZ, mas também que aproveite o seu potencial de prospecção tecnológica como forma de identificação dos próprios requisitos, especialmente através da extração de requisitos a partir de documentos de registro de patente. Quanto à aplicação da TRIZ para o levantamento de requisitos, não foi identificado nenhum artigo específico acerca da extração de requisitos de documentos de registro de patente com o objetivo de concepção de produto, mas tão somente relativo a identificação de tendências evolutivas. Dessa forma, a utilização de documentos de registro de patente para a identificação de requisitos combinada com a valoração de tais requisitos pelo usuário e a eliminação das contradições técnicas,

⁴ Brad *et al.* (2015).

⁵ Xiaomin *et al.* (2015).

⁶ Munzberg *et al.* (2015).

constitui uma uma possibilidade de integração entre QFD e TRIZ com significativa relevância acadêmica.

2.2. Planejamento de Caso

O caso escolhido na pesquisa exhibe as características desejáveis no que concerne à justificação teórica adequada, uma vez que se trata de uma categoria de produto com alto potencial de desenvolvimento. Assim, em consonância com a questão de pesquisa formulada, a coleta de dados foi feita a partir de distintas fontes de evidência, nomeadamente o mapeamento de documentos de registro de patente e o questionário de avaliação de requisitos de usuário apresentado no Apêndice A.

2.2.1. Mapeamento de Documentos de Registro de Patente

As informações necessárias à identificação dos requisitos de produto a partir das tendências de evolução tecnológica foram obtidas através de pesquisa de documentos de patentes depositadas em bancos de dados específicos, nomeadamente o Escritório de Marcas e Patentes dos Estados Unidos (USPTO⁷) e o Escritório Europeu de Patentes (EPO⁸). A escolha de ambos se justifica porque, além de possuírem muitas semelhanças entre si, os sistemas de patente europeu e norte-americano são os dois sistemas de patente mundialmente dominantes⁹ (TROTT, 2012). O USPTO representa uma fonte útil de informações, em função do rigor e da imparcialidade dos critérios e procedimentos para a obtenção de registros de patentes, bem como dos incentivos para as empresas obterem proteção à propriedade industrial (TIDD & BESSANT, 2015).

De acordo com Trott (2012), as duas fontes de informação mais importantes de um documento de patente são a especificação e o resumo. Enquanto a especificação consiste na descrição detalhada da invenção, devendo revelar informações suficientes para a sua repetição de forma precisa, o resumo consiste em uma declaração breve que identifica o assunto técnico da invenção e o avanço que ela representa (TROTT, 2012).

⁷ Sigla para a expressão inglesa *United States Patent and Trademark Office*.

⁸ Acrônimo para a expressão inglesa *European Patent Office*.

⁹ Segundo Trott (2012), o conceito de uma patente mundial, isto é, um sistema internacional unificado, ainda não existe.

Neste contexto, Leite & Silva (2013) afirmam que, no âmbito da estratégia de busca de documentos de patentes, a localização dos termos no resumo é mais relevante do que no título. Além disso, o texto livre não é limitado aos termos autorizados para uso em indexação, uma vez que a terminologia considerada pode ser muito atual, com aplicações ainda não significativas a ponto de ensejar uma indexação, ou seja, a incorporação de tais termos em uma lista autorizada de linguagem controlada (LEITE & SILVA, 2013).

O mapeamento de documentos de patentes permitiu a identificação tanto dos requisitos de usuário quanto dos requisitos técnicos relativos ao sistema tecnológico em desenvolvimento. Neste contexto, os requisitos técnicos foram obtidos a partir do objeto tutelado por cada documento, isto é, da alteração indicada na patente como sujeita à proteção legal através de linguagem precisa e formal¹⁰. Por sua vez, os requisitos de usuário foram extraídos a partir das melhorias ou efeitos associados aos objetos tutelados pelo documento de patente, isto é, às vantagens trazidas pelas alterações passíveis de proteção legal e expostas através de linguagem imprecisa e informal¹¹.

2.2.2. Obtenção da “Voz do Cliente”

As informações necessárias à valoração dos requisitos de produto foram obtidas a partir de avaliação de usuário feita através de questionário. Tal questionário apresenta os requisitos de usuário, obtidos a partir dos documentos de patentes, cuja relevância para o usuário é valorada através de sequência numérica variando de 1 a 5, pela qual o número 1 indica que o requisito é pouco relevante e o número 5 indica que o requisito é muito relevante.

O público-alvo selecionado consiste em dezoito oficiais do Exército Brasileiro oriundos da Academia Militar das Agulhas Negras (AMAN) atualmente servindo no Instituto Militar de Engenharia (IME), sendo um major e dezessete tenentes. A seleção do público-alvo não levou em consideração a formação específica de cada oficial, mas

¹⁰ A linguagem precisa e formal apresenta descrição específica do sistema como característica dimensional ou composição química, podendo ou não conter parâmetros numéricos.

¹¹ A linguagem imprecisa e informal apresenta efeito desejável ao sistema como aumento de alcance, aumento de precisão, dentre outros.

apenas a sua formação básica, o que permitiu a obtenção de uma visão mais ampla acerca da utilização do armamento ao abarcar a consideração de oficiais da área de combate e apoio ao combate, como cavalaria, artilharia e engenharia, bem como das áreas de intendência e material bélico.

3. Desdobramento da Função Qualidade (QFD)

3.1. Características Gerais

O **Desdobramento da Função Qualidade (QFD¹²)** é uma ferramenta que visa auxiliar a busca de consenso sobre as diferentes definições de um produto¹³ em desenvolvimento através do estabelecimento de relações entre as necessidades dos clientes e os requisitos de projeto, bem como da identificação de eventuais conflitos entre tais requisitos. Ao traduzir as vontades vagas e não mensuráveis dos clientes em características técnicas mensuráveis, o QFD permite a identificação de quais devem receber mais atenção por parte dos projetistas, uma vez que a demanda de mercado define os atributos de qualidade, e estes os atributos de produção (ROZENFELD, *et al.*, 2006).

De acordo com Yeh *et al.* (2011), o QFD consiste em uma abordagem de desenvolvimento de produto direcionada à maximização da satisfação do cliente através da vinculação entre demanda e características técnicas, introduzindo a função qualidade nos estágios iniciais de concepção de forma a assegurar a qualidade desejada no estágio de produção.

Nesse sentido, Ahmed & Amagoh (2010) atestam que o QFD é em um mecanismo capaz de inserir a voz do cliente no processo de desenvolvimento de produto desde o seu projeto conceitual até a sua manufatura¹⁴, ou seja, é um método capaz de conectar as características técnicas de um produto com a sua demanda de mercado segundo a perspectiva do cliente. Trata-se, portanto, da transformação sistemática das expectativas do cliente em parâmetros mensuráveis de produto que “[...] ajuda a empresa a focar no que os clientes percebem como importante ” (AHMED & AMAGOH, 2010, p. 199, tradução do autor).

Clausing (1994) também descreve o QFD como um processo sistemático de identificação dos desejos dos clientes e de desdobramento destes através da estrutura funcional da corporação de forma que suas atividades reflitam tais desejos. Ao coadunar

¹² Sigla para a expressão inglesa *Quality Function Deployment*.

¹³ Cauchick Miguel (2009) destaca que a importância do QFD no desenvolvimento de produtos pode ser demonstrada por aplicações em diferentes setores de atividades industriais, tais como os setores de alimentos, automotivo, construção civil e informática.

¹⁴ De acordo com Ahmed & Amagoh (2010), o alcance do QFD se estende até a cadeia de suprimentos, uma vez que leva os fornecedores a atenderem as características do produto que refletem as necessidades dos clientes.

diferentes setores da corporação em torno do objetivo comum de satisfação das necessidades dos clientes, o QFD se apresenta como uma ferramenta adequada para a solução de problemas típicos do desenvolvimento de produto, tais como: desconsideração da necessidade dos clientes; desconsideração do ambiente competitivo; interpretação divergente das especificações; baixa interação entre equipes de projeto e de produção; baixo comprometimento às decisões prévias; e perda de informação. A ferramenta, portanto, vincula o processo de desenvolvimento de produto às informações recebidas dos clientes desde a fase de concepção até a fase de fabricação, de forma que as atividades das equipes funcionais envolvidas no processo transcorram em consonância com os anseios dos clientes (CLAUSING, 1994).

Cheng & Melo Filho (2007) afirmam que a garantia da qualidade do produto implica na satisfação da necessidade do cliente, podendo ser realizada através de abordagens distintas e complementares a serem realizadas através de inspeção, controle do processo e no âmbito do desenvolvimento do produto. Assim, para que a voz do cliente seja convertida em características técnicas do produto que definam a qualidade do produto e atendam às exigências do mercado, a tradução das informações necessárias para o desenvolvimento do produto em concordância com as necessidades dos clientes ocorre através de desdobramentos sistemáticos de todos os fatores relevantes a tal desenvolvimento, tais como características de qualidade do produto final e dos produtos intermediários, funções, matérias-primas, parâmetros de controle, processos, mecanismos, componentes, dentre outros a depender da natureza do produto em questão (CHENG & MELO FILHO, 2007).

3.2. Casa da Qualidade

As expectativas do usuário com relação ao produto são subjetivas, qualitativas e não técnicas e o seu desdobramento em requisitos de produto, os quais são essencialmente objetivos, quantitativos e técnicos, é realizado através de um diagrama matricial denominado **Casa da Qualidade** que é formado por linhas nas quais as informações externas são inseridas, e colunas, das quais os resultados referentes a tais informações são extraídos, possibilitando não apenas reduzir o tempo de desenvolvimento, como também aumentar o grau de satisfação do cliente com o

produto (CLAUSING, 1994). A figura 2 apresenta o esquema de um diagrama da Casa da Qualidade.

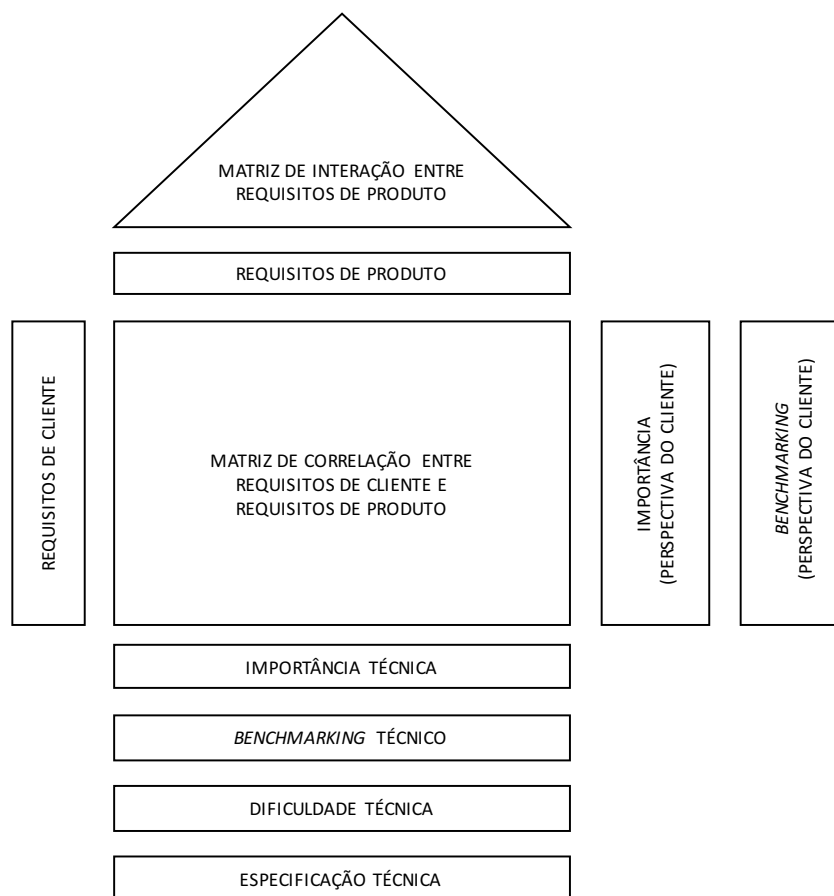


Figura 2 – Diagrama da Casa da Qualidade.

Fonte: Adaptado de Rozenfeld *et. al.* (2006), Yeh *et al.* (2011) e Clausing (1994).

O campo referente às necessidades dos clientes recebe as informações relativas às expectativas destes com relação ao produto, isto é o que os clientes esperam que o produto faça ou quais características os clientes esperam que o produto tenha (ROZENFELD, *et. al.*, 2006). As necessidades devem ainda ser classificadas de acordo com o grau de importância de cada uma para o cliente a partir de uma escala que varia de 1 a 5, na qual o conceito 5 corresponde à necessidade de maior relevância (YEH *et al.*, 2011).

A transposição da perspectiva do cliente para a perspectiva técnica é feita através da definição dos requisitos de qualidade que determinam as características desejáveis do produto. A conexão entre demanda e tecnologia é feita através da matriz de correlação, que permite identificar a existência de relação entre os requisitos de

qualidade e as necessidades explicitadas, bem como a intensidade pela qual cada necessidade é atendida (ROZENFELD, *et. al.*, 2006). Para tanto, Yeh *et al.* (2011) afirmam que deve ser usada uma escala que atribui os valores 1, 3 e 9 para as correlações fracas, médias e fortes, respectivamente. Já Ahmed & Amagoh (2010) apontam que a Casa da Qualidade apresenta as relações entre os requisitos de cliente e os requisitos de produto através de escala numérica de valores 1, 5 e 7, que indicam, respectivamente, níveis de intensidade fraca, média e forte através de símbolos próprios dispostos na matriz de correlação.

Ao indicar as associações das demandas dos clientes com os requisitos técnicos de qualidade, bem como a intensidade com que tais associações ocorrem, o diagrama permite, a partir das informações de importância de cada característica do produto sob a perspectiva do cliente, definir a importância de cada característica do produto sob a perspectiva técnica, isto é, a relevância de cada requisito de qualidade. Tal definição orienta a equipe do projeto no que se refere a quais requisitos técnicos são mais relevantes para a satisfação do cliente. Além disso, a importância de cada requisito técnico deve ser ponderada com a sua dificuldade técnica de implementação, o que permite à equipe de projeto a concentração de esforço no desenvolvimento de requisitos essenciais e de maior dificuldade de implementação. (CLAUSING, 1994).

O produto a ser desenvolvido não deve ser apenas novo, mas também melhor do que os concorrentes. Nesse sentido, a análise de *benchmarking* visa avaliar o grau de atendimento das demandas dos clientes e dos requisitos de qualidade por parte de outros produtos similares, de forma a comparar o produto em desenvolvimento com relação aos concorrentes. A análise de *benchmarking* sob a perspectiva do cliente pode ser feita através de pesquisa de mercado, enquanto a análise de *benchmarking* sob a perspectiva técnica pode ser feita através de testes específicos que permitam avaliar o grau de atendimento aos requisitos técnicos de qualidade. A análise comparativa de *benchmarking*, em geral, é feita entre o produto atual da corporação e dois produtos de empresas concorrentes, mas pode ser dispensada no caso de produtos radicalmente novos (CLAUSING, 1994).

A matriz de interação permite identificar eventuais conflitos de implementação entre os requisitos de qualidade, de forma a subsidiar as soluções de compromisso necessária para a otimização da satisfação do cliente. A necessidade de identificação de

conflitos visa reduzir o risco potencial de falhas decorrentes da consideração isolada dos requisitos de qualidade, a qual acarreta considerável retrabalho por parte da equipe de projeto. Assim, cada par de requisitos é avaliado de forma a identificar se há alguma interação entre ambos, seja esta positiva¹⁵ ou negativa¹⁶, bem como a sua intensidade, o que permite à equipe de projeto alterar previamente as interações deletérias ao projeto (CLAUSING, 1994). As interações podem ser indicadas através de símbolos que representem relações negativas, fortemente negativas, positivas e fortemente positivas (YEH *et al.*, 2011).

As informações relativas à essencialidade e dificuldade de cada requisito, bem como às interações entre eles e a comparações com os requisitos similares de outros produtos, permitem a suas valorações numéricas, seja por meio de faixas de aceitação ou mesmo de valores mínimos ou máximos, de forma a permitir a avaliação do produto. Define-se, assim, as especificações técnicas do produto, que constituem o objetivo final do diagrama da Casa de Qualidade e representam a quantificação das expectativas da corporação para o novo produto (CLAUSING, 1994).

Após o desdobramento dos requisitos do cliente em requisitos técnicos do produto e suas respectivas quantificações, estes são sucessivamente desdobrados em requisitos de projeto, requisitos de processo e requisitos operacionais de produção através de uma sequência de diagramas nos quais as respectivas linhas contêm as informações de entrada e as respectivas colunas contêm os resultados que são inseridos nas linhas do diagrama subsequente (CLAUSING, 1994). A figura 3 apresenta a estrutura básica completa do QFD.

¹⁵ A interação positiva implica em uma relação de proporcionalidade direta entre os requisitos, isto é, no reforço mútuo entre ambos.

¹⁶ A interação negativa implica em uma relação de proporcionalidade inversa entre os requisitos, isto é, na interferência entre ambos.

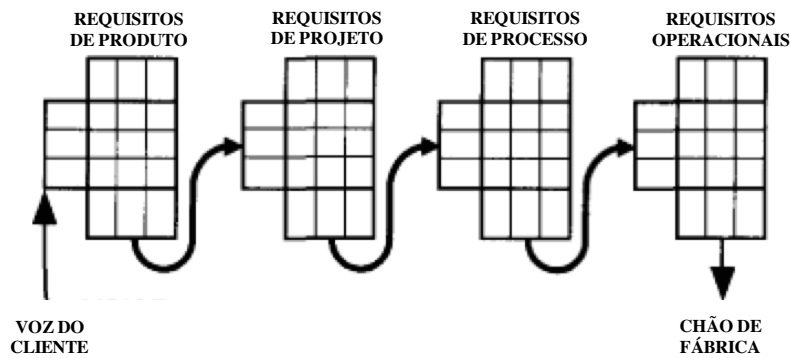


Figura 3 – Estrutura básica completa do QFD.
 Fonte: Adaptado de Clausing (1994).

A sequência de desdobramento do QFD a partir dos requisitos de produto até os requisitos operacionais de produção permite integrar todas as decisões acerca do desenvolvimento de produto às necessidades e desejos do cliente (CLAUSING, 1994).

Nesse sentido, a utilização do método QFD se mostra relevante uma vez que este se preocupa com o mercado e fundamenta todas as decisões acerca do desenvolvimento do produto a partir dos anseios dos clientes, o que não apenas aumenta as chances de sucesso, como também reduz o tempo de retrabalho, especialmente nas fases finais de implementação do processo produtivo.

4. Teoria da Solução Inventiva de Problemas (TRIZ)

4.1. Características Gerais

A Teoria da Solução Inventiva de Problemas (TRIZ¹⁷) atesta que a evolução de sistemas tecnológicos é governada por leis objetivas, isto é, os sistemas tecnológicos evoluem segundo direções determinadas através de padrões que permitem a previsão de um sistema futuro a partir de um sistema atual. Assim, apesar da aparente aleatoriedade da evolução tecnológica, é possível identificar, no longo prazo, as direções pelas quais os sistemas evoluem (CLAUSING & FEY, 2004).

A TRIZ foi criada por Genrich Saulovich Altshuller após a observação de soluções inventivas recorrentemente aplicadas a milhares de patentes, o que o permitiu concluir que o processo inventivo não se restringe aos limites da habilidade individual inata do inventor (LABOURIAU, 2013). Ao contrário, Altshuller atestou que o processo sistemático de inovação pode ser estruturado a partir de princípios fundamentais de inventividade que permitem a eliminação de contradições técnicas com base no conceito de solução ideal, ou seja, os sistemas tecnológicos tendem a evoluir em direção a sistemas ideais através da superação de contradições e compromissos de projeto (ALTSHULLER, 2007). Para tanto, Altshuller definiu o problema inventivo como aquele que contém ao menos uma contradição, pela qual a melhoria de determinada característica do sistema ocorre mediante a piora de outra característica (TERNINKO *et al.*, 1998). Assim, o poder da TRIZ reside no fato de ser baseada diretamente em documentos de patentes e como as *“[...] patentes são inovadoras por definição, um método de projeto lastreado em pesquisa de patentes fornece soluções inovadoras”* (MORGAN, 2007, p. 20, tradução do autor).

Terninko *et al.* (1998) afirma que a sistematização do processo de inovação permite alcançar o sistema ideal, objetivo da evolução tecnológica, através de soluções das contradições existentes e, portanto, as *“[...] três premissas sobre as quais a [...] [TRIZ] é construída [...] [são]: (1) o projeto ideal é um objetivo, (2) [as] contradições ajudam a resolver problemas e (3) o processo de inovação pode ser sistematicamente estruturado”* (TERNINKO *et al.*, 1998, p. 03, tradução do autor). No mesmo sentido,

¹⁷ Acrônimo para a expressão russa *Teoriya Resheniya Izobretatelskikh Zadatch.*

Clausing & Fey (2004) atestam que a capacidade de previsão da TRIZ a torna, além de uma teoria sobre a evolução tecnológica, um método para o desenvolvimento eficaz de novos sistemas tecnológicos ao possibilitar a sistematização do processo inventivo através de princípios objetivos que indiquem as soluções mais promissoras. Ainda, tal sistematização elimina a aleatoriedade da prospecção tecnológica baseada em processos de tentativa e erro, bem como a subjetividade inerente a processos calcados na opinião de especialistas. De acordo com Terninko *et al.* (1998):

[...] [A] pesquisa de Altshuller substituiu a imprevisível 'Eureca!' do estereotípico cientista louco ou do professor absorto por padrões específicos de evolução [...] [tecnológica] que podem ser seguidos pelo [...] [projetista] da vida real (TERNINKO *et al.*, 1998, p. 07, tradução do autor).

O mapeamento do padrão evolutivo de um determinado sistema é calcado na aplicação das leis de evolução de sistemas tecnológicos, que representam padrões estáveis de mudança através do tempo e que envolvem as interações entre os elementos do sistema, bem como entre o sistema e o ambiente no qual este se encontra inserido. Essas leis permitem a identificação das possíveis linhas evolutivas dos sistemas tecnológicos, bem como os conflitos de sistema a elas associadas, de forma a definir as mudanças a serem implementadas no produto ou na tecnologia existente (CLAUSING & FEY, 2004).

Altshuller percebeu que os princípios aplicados na solução de diversos problemas inventivos através da superação de contradições sem compromisso poderiam ser usados para a solução de problemas técnicos similares. Essa correlação o levou a formulação de quarenta princípios de solução de contradições técnicas, os quais, associados aos seus respectivos subprincípios, oferecem noventa abordagens distintas de solução de problemas inventivos. Além disso, Altshuller formulou trinta e nove características universais ensejadoras de contradições em sistemas tecnológicos, as quais, juntamente com os princípios, permitiram o desenvolvimento de uma ferramenta matricial para a solução de problemas inventivos (SHULYAK, 2005).

4.2. Processo Sistemático de Inovação

A busca por uma solução que melhore algum aspecto de um determinado sistema tecnológico segue, via de regra, o método de tentativa e erro, através do qual são geradas ideias a serem testadas nos âmbitos teórico e prático do sistema. As ideias são sucessivamente testadas de forma aleatória até que se aproxime ao máximo da solução (ALTSHULLER, 2007). Essa linha de ação gera um diagrama que traduz a aleatoriedade do método de tentativa e erro, conforme a figura 4.

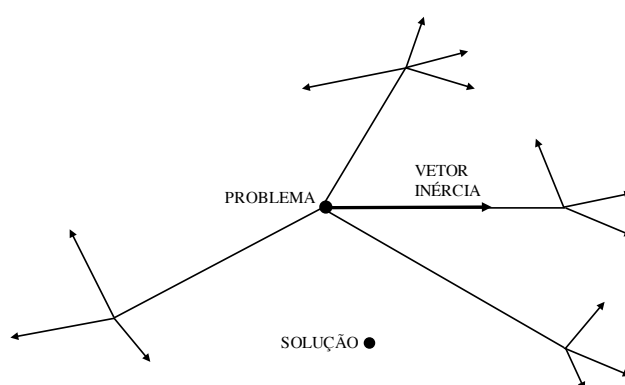


Figura 4 – Diagrama do método de tentativa e erro.
Fonte: Adaptado de Altshuller (2007).

Na figura 4, verifica-se que, a partir de um determinado problema, o inventor busca atingir a solução, cuja posição é desconhecida. Para tanto, diversas direções conceituais são testadas, das quais derivam soluções específicas representadas pelas setas na periferia do diagrama. As soluções específicas relativas a cada direção conceitual compartilham, portanto, de características próprias ao conceito utilizado para a solução do problema e, ao não atingirem a solução desejada, podem levar o inventor a tentar a implementação da solução através de outro conceito básico. Neste contexto, a tendência inicial, caracterizada pelo vetor inércia, é a de se seguir uma direção conceitual que coadune com a bagagem de conhecimento e experiência do inventor, o que pode leva-lo a se afastar da direção da solução em um primeiro momento. Essa aleatoriedade típica do processo de solução de um problema inventivo

através do método de tentativa e erro pode, portanto, demandar um elevado número de tentativas (ALTSHULLER, 2007).

Altshuller (2007) defende que o vetor inércia sempre segue sentidos opostos à posição da solução do problema, uma vez que busca atingir o desconhecido a partir de elementos conhecidos, o que restringe o arcabouço de opções de solução a serem usadas. Dessa forma, a criatividade reside na habilidade de definição do problema corretamente, isto é, de se entender o que, de fato, o problema em questão demanda. A deficiência na definição correta do problema constitui o ponto central da discrepância entre o aumento da complexidade dos problemas inventivos e a estagnação dos métodos de solução destes problemas. Assim, o desperdício de tempo e energia acarretado por essa estagnação demanda um processo sistemático de definição de problema e de otimização da busca de soluções, que seja estruturado por princípios objetivos, isto é, uma ciência heurística, de caráter prescritivo, cujo objeto seja a solução de problemas criativos.

Altshuller (2007) definiu cinco níveis de soluções relacionadas a problemas criativos em função da análise de 14 classes de invenções de 1965 a 1969, os quais estão dispostos na tabela 3 juntamente com as suas características, frequência no âmbito da amostra, e o número médio de tentativas que devem ser implementadas para se chegar à solução.

Tabela 3 – Níveis de soluções inventivas.

Níveis	Tentativas	Frequência	Característica
1º Nível	1 a 10	32,0%	Solução baseada em conhecimento pessoal
2º Nível	10 a 100	45,0%	Solução baseada em conhecimento corporativo
3º Nível	100 a 1.000	19,0%	Solução baseada em conhecimento setorial
4º Nível	1.000 a 10.000	<4,0%	Desenvolvimento de novo conceito
5º Nível	Mais de 10.000	<0,3%	Descoberta de novo fenômeno

Fonte: Adaptado de Altshuller (2007).

Os níveis apresentados na tabela 3 explicitam diferentes graus de inventividade que demandam fontes específicas de conhecimento. As soluções de nível 1 dependem de conhecimento pessoal para serem implementadas. As soluções de nível 2 dependem de conhecimento corporativo, isto é, no âmbito interno da organização onde ocorre o problema. As soluções de nível 3 dependem de conhecimento setorial, isto é, no âmbito

externo da organização onde ocorre o problema, mas no âmbito interno do setor de produção no qual a organização está inserida. As soluções de nível 4 dependem de conhecimento externo ao setor de produção no qual a organização está inserida e está relacionada ao desenvolvimento de novos conceitos de sistemas tecnológicos. Por fim, as soluções de nível 5 estão relacionadas à descoberta de novos fenômenos científicos (MORGAN, 2007).

As soluções heurísticas tradicionais só se aplicam aos níveis inferiores de problemas criativos, enquanto os níveis mais elevados, que envolvem um número maior de variáveis, bem como variáveis desconhecidas e cambiáveis, demandam soluções heurísticas mais sofisticadas que não são generalizáveis, mas devem ser implementadas caso a caso¹⁸. Assim, *“métodos heurísticos de ordem mais elevada não podem ser descobertos, simplesmente porque não há nenhum, mas eles podem, e devem ser desenvolvidos”* (ALTSHULLER, 2007, p. 55, tradução do autor).

Alguns métodos tradicionalmente utilizados para a abordagem de problemas criativos são, entretanto, eivados de vícios similares aos do método de tentativa e erro. O método de *Brainstorming* busca a solução de problemas através da geração livre de ideias por parte de equipe formada por profissionais de diferentes áreas, mas apesar de adequado para problemas de primeiro e segundo níveis, é inapropriado para problemas de níveis mais elevados, uma vez que torna a busca por uma solução ainda mais caótica e tende a seguir a direção de vetores de inércia específicos, que pode apontar para direções erradas. O método de Análise Morfológica é baseado na construção de matrizes multidimensionais nas quais os eixos correspondem às principais características de uma determinada combinação de objetos, mas sua limitação reside no elevado número de variáveis envolvidas em problemas de níveis elevados, o que demanda a construção de matrizes com milhares ou milhões de variações. Por fim, o método de Questões Piloto busca a elaboração de questões ou sugestões de forma a facilitar a seleção de variáveis, mas tais questões estão vinculadas à experiência prévia

¹⁸ O advento da computação difundiu a implementação de algoritmos baseados na seleção sequencial de variáveis, o que pareceu sugerir a ideia de que problemas inventivos devem ser resolvidos por tentativa e erro. No entanto, a evolução da tecnologia computacional mostrou que mesmo sistemas com alta capacidade e velocidade de processamento de dados não poderiam solucionar problemas inventivos, os quais requerem uma programação heurística que possa selecionar, segundo critérios específicos, um determinado número de variáveis adequadas para a solução do problema.

do inventor e, portanto, sujeitas à atuação do vetor de inércia que pode, como já apresentado, levar a soluções distantes da solução ideal (ALTSHULLER, 2007).

Do exposto verifica-se que a solução de problemas inventivos de alto nível requer a implementação de algoritmos¹⁹ heurísticos eficientes que substituam a lógica tradicional do processamento aleatório e sequencial de variáveis pela lógica da escolha de variáveis orientadas à solução ideal do problema, não baseada na experiência de um inventor ou grupo de inventores, uma vez que a “*utilidade dos processos tradicionais [...] decresce à medida em que a complexidade do problema cresce*” (TERNINKO *et al.*, 1998, p. 04, tradução do autor). Nesse sentido, a abordagem desenvolvida por Altshuller reduz o tempo da atividade inventiva e estimula o pensamento disruptivo²⁰ (TERNINKO *et al.*, 1998).

O algoritmo proposto por Altshuller viabiliza o processo sistemático de solução de problemas inventivos através da superação de contradições técnicas em direção ao conceito de sistema tecnológico ideal (ALTSHULLER, 2007). Em outras palavras:

[...] [A] TRIZ representa uma forma única de aumento da [atividade de] inovação [...]. Essa ferramenta poderosa elimina a necessidade de compromisso e *trade off* causada pelo conflito entre diferentes medidas de desempenho. Ao contrário, [a] TRIZ celebra a identificação de conflito como oportunidade de melhoria e, dessa forma, refina o processo de *design* (TERNINKO *et al.*, 1998, p. 05, tradução do autor).

A eliminação de contradições técnicas é possível através da implementação de princípios básicos extraídos da análise de diversos documentos de patentes. Esses princípios compõem um sistema de inovação que substituiu a subjetividade do processo criativo dos inventores do passado pela objetividade de leis que podem ser seguidas e implementadas por qualquer pessoa no exercício da atividade criativa, independentemente de inspiração pessoal ou do número de tentativas realizadas, uma

¹⁹ Morgan (2007) afirma que, apesar de aplicável para problemas de níveis 1 a 4, a utilização da TRIZ é mais comum para a abordagem de problemas de níveis 3 e 4.

²⁰ Segundo Terninko *et al.* (1998), Altshuller percebeu a dificuldade que os cientistas apresentam em pensar fora de seus campos de referência, isto é, com um linguagem científica diferente.

vez que os *“problemas devem ser resolvidos através do conhecimento, não através de um grande número de tentativas”* (ALTSHULLER, 2007, p. 74, tradução do autor).

4.3. Sistema Técnico Ideal

O sistema técnico²¹ consiste de subsistemas²² que interagem entre si para o desempenho de uma função, motivo pelo qual a modificação de um subsistema implica na modificação do sistema. Neste contexto, o sistema técnico mais simples consiste de dois elementos entre os quais há fluxo de energia (SHULYAK, 2005).

A partir da sua concepção, os sistemas técnicos ganham sofisticação à medida em que absorvem inovações subsequentes. Assim, todo e qualquer sistema técnico, seja um mecanismo ou um processo, é precedido de diversas inovações sequenciais que visam solucionar problemas inerentes ao sistema em questão e, via de regra, estabelecem o objetivo a ser atingido e a forma pela qual tal objetivo deve ser atingido. Esse conjunto de inovações ao longo do tempo tende a levar o sistema a um estágio ideal através de uma determinada linha de desenvolvimento tecnológico (ALTSHULLER, 2007).

Altshuller (2007) atesta que o sistema tecnológico não é um fim em si mesmo, mas um meio para a satisfação de determinadas demandas através de funções específicas. Sob essa perspectiva, o sistema tecnológico ideal é o que desempenha diretamente as funções para as quais foi concebido, isto é, sem a necessidade de componentes que exerçam funções intermediárias. Assim, o sistema ideal não requer material, energia, espaço ou tempo para operar. No entanto, Clausing e Fey (2004) apontam que, por ser o sistema tecnológico ideal uma abstração, o sistema tecnológico real é formado por elementos que desempenham funções específicas de modo coordenado, resultando no desempenho das funções gerais para as quais o sistema, como um todo, foi concebido. Apesar disso, Altshuller (2007) expõe que todas as partes do sistema ideal realizam funções úteis com a máxima capacidade possível. Dessa

²¹ Considera-se aqui os sistemas artificiais, projetados e construídos para a satisfação de alguma necessidade humana. Os sistemas biológicos são, a rigor, sistemas, pois constituem-se de subsistemas que interagem entre si, e exercem as funções necessárias para a manutenção da vida, mas não constituem sistemas técnicos.

²² O subsistema de um sistema técnico é, por si só, um sistema técnico que desempenha função específica no âmbito do sistema no qual está inserido, isto é, o seu supersistema.

forma, apenas as inovações que tendam a levar o sistema ao seu estado ideal serão mantidas no longo prazo.

A tendência da linha evolutiva de um sistema em atingir o estado ideal consiste na ideia central da metodologia de sistematização do processo de inovação proposta por Altshuller (2007). Em suas palavras, *“o sistema ideal é um conceito fundamental da metodologia inventiva”* (ALTSHULLER, 2007, p. 86, tradução do autor). Enquanto a metodologia de tentativa e erro pode sugerir linhas evolutivas segundo o vetor inércia ou mesmo segundo direções difusas e aleatórias, em ambos os casos em sentidos que se afastam da solução do problema, há a possibilidade de se restringir o campo de busca da solução ao se considerar que a solução consiste em se trazer o sistema de seu estado original para o seu estado ideal. Em outras palavras, a definição dos parâmetros de idealidade de um sistema indica a direção mais promissora de evolução.

Altshuller (2007) atesta ainda que a dificuldade dos problemas de inovação reside exatamente no fato de haver contradição entre requisitos técnicos necessários para o desenvolvimento da linha evolutiva do sistema em direção à sua idealidade. Entretanto, o desenvolvimento lógico em direção ao sistema ideal implica na satisfação de uma determinada demanda, ou seja, de uma determinada funcionalidade, visa uma finalidade específica e não a forma pela qual essa finalidade deve ser atingida. A implementação da solução ideal, portanto, ocorre através da superação das contradições, e esta só é conseguida por meio da mudança do foco do dispositivo para a função, isto é, do meio para o fim. Em suma, *“a arte de inventar consiste na habilidade de remoção de barreiras para a idealidade de forma a melhorar qualitativamente o sistema técnico”* (SHULYAK, 2005, p. 16, tradução do autor).

4.4. Contradição Técnica

A **contradição técnica** consiste na dependência recíproca entre os atributos²³ de um sistema tecnológico, pela qual a melhoria de determinado atributo causa a deterioração de outro. Entretanto, a otimização da funcionalidade do sistema requer a escolha da combinação de atributos mais favorável, o que muitas vezes leva o projetista

²³ Os atributos estão relacionados ao desempenho das diversas funções do sistema e definem características como peso, dimensão, cor, velocidade e potência.

a buscar soluções de compromisso entre eles, as quais dependem de sua habilidade em identificar as características mais importantes de forma a determinar o que se pode ganhar e perder em termos de qualidade do sistema (ALTSHULLER, 2007). Sobre isso, Clausen e Fey (2004) afirmam que o processo de evolução tecnológica ocorre através da resolução de conflitos de sistema, o que pode ser feito através da satisfação simultânea ou da solução de compromisso entre duas demandas opostas. Neste último caso, define-se um *trade-off* entre os atributos, admitindo-se a deterioração de um em prol da melhoria de outro. Altshuller (2007), no entanto, defende que a essência da solução inventiva é a superação de contradições técnicas sem o estabelecimento de compromissos entre elas, isto é, a necessidade de invenção surge quando um problema contém o requisito adicional de ganho sem perda. Assim, a remoção da contradição técnica é condição necessária para a solução do problema, ou seja, *“uma invenção é a remoção de contradições técnicas”* (ALTSHULLER, 2007, p. 95, tradução do autor). A mesma ideia é defendida por Gadd (2011), que afirma que a essência da TRIZ reside na solução da contradição técnica e não na sua otimização, ou seja, não deve haver a escolha entre duas características benéficas, mas sim a busca sistemática de soluções que forneçam ambas.

Gadd (2011) afirma que a contradição técnica surge quando há a necessidade de duas demandas opostas ou quando uma nova demanda enseja a introdução de característica que provoca a deterioração de outra preexistente. Entretanto, além da contradição técnica, Altshuller também define o conceito de contradição física, que ocorre quando duas propriedades opostas são requeridas ao mesmo elemento de um sistema técnico ou ao próprio sistema (SHULYAK, 2005). Assim, ao contrário da contradição técnica em que dois parâmetros são mutuamente conflitantes, a contradição física ocorre quando o mesmo parâmetro demanda características opostas. Ainda, de acordo com Altshuller (2004), *“uma contradição técnica normalmente envolve o sistema inteiro ou diversas partes do sistema [...] enquanto uma contradição física envolve apenas uma parte do sistema”* (ALTSHULLER, 2004, p. 21, tradução do autor). Em ambos os casos, a superação da contradição é feita através da aplicação de 40 princípios²⁴ inventivos propostos por Altshuller que consistem em proposições passíveis

²⁴ De acordo com Gadd (2011), a extração dos 40 princípios inventivos demandou a pesquisa de mais de 50.000 documentos de registro de patente.

de serem transformadas em soluções práticas. A solução de contradições físicas, no entanto, demanda abordagens consubstanciadas em diferentes conjuntos de princípios inventivos que possibilitam a separação das soluções no tempo²⁵, no espaço²⁶, por condição²⁷ ou por sistema²⁸. Por sua vez, a solução de contradições técnicas requer o uso da Matriz de Contradição, que consiste em uma matriz com 39 linhas e 39 colunas representando as possíveis associações entre os 39 parâmetros técnicos de engenharia que traduzem as características dos sistemas tecnológicos identificadas a partir dos documentos de registro de patente (GADD, 2011).

A utilização da Matriz de Contradição requer a identificação da linha correspondente ao parâmetro técnico a ser melhorado no sistema, assim como a identificação da coluna que corresponde ao parâmetro de engenharia cuja deterioração deve ser evitada. A coordenada matricial correspondente aos parâmetros selecionados fornece os princípios inventivos adequados para a solução da contradição técnica. A dificuldade da escolha dos parâmetros de engenharia que reflitam precisamente a contradição técnica pode ser contornada através da escolha de outros pares similares de parâmetros, de forma a identificar os princípios inventivos recorrentes que, portanto, induzem às soluções mais adequadas (GADD, 2011). Altshuller (2005) apresenta os parâmetros de engenharia, os princípios e subprincípios inventivos, e a Matriz de Contradição conforme o disposto, respectivamente, nos apêndices B, C e D.

4.5. Leis de Evolução Tecnológica

As leis de evolução tecnológica constituem uma ferramenta para o desenvolvimento de novos produtos, pois apontam para a provável configuração futura do sistema tecnológico, isto é, preveem como o sistema deve evoluir para atender as demandas de mercado. Tais leis refletem os padrões históricos de desenvolvimento tecnológico seguidos por todos os sistemas a partir de estudos evolutivos no âmbito de bancos de patentes e, dessa forma, sugerem as características futuras do sistema a

²⁵ A separação no tempo permite que o sistema apresente as duas características desejáveis em momentos distintos.

²⁶ A separação no espaço permite que o sistema apresente as duas características desejáveis em locais distintos.

²⁷ A separação por condição permite que o sistema apresente duas características desejáveis no mesmo local e momento através de elementos distintos.

²⁸ A separação por sistema permite que as características desejáveis sejam atendidas por outro sistema tecnológico.

partir da descrição de evoluções passadas (GADD, 2011). As leis de evolução tecnológica de um sistema, de acordo com Gadd (2011), são as seguintes:

1. Lei de aumento da idealidade;
2. Lei de evolução em Curva S;
3. Lei de redução do envolvimento humano;
4. Lei de desenvolvimento não uniforme das partes;
5. Lei de aumento da complexidade seguida de simplificação;
6. Lei de aumento de dinamismo, flexibilidade e controlabilidade;
7. Lei de aumento da segmentação e uso de campos;
8. Lei de combinação das partes.

A **lei de aumento da idealidade**, premissa axiomática da teoria desenvolvida por Altshuller, atesta que todo sistema técnico, no decorrer do seu ciclo de vida, tende a se tornar mais eficaz²⁹ e eficiente³⁰, ou seja, a razão entre a funcionalidade do sistema e os custos³¹ a ele associados tende a aumentar no decorrer de sua evolução. Assim, quanto mais distante do estado ideal, mais complexo é o sistema, e quanto mais próximo do estado ideal, mais simples é o sistema, restando apenas a função e não mais o mecanismo ao se atingir a idealidade plena (SHULYAK, 2005).

A **lei de evolução em Curva S** atesta que a evolução de um sistema tecnológico segue um padrão gráfico em forma de S que reflete a variação de seu desempenho através da razão entre benefício e custo desde a sua inserção no mercado e cujo perfil decorre da correlação com indicadores quantitativos e qualitativos de atividade inventiva (CLAUSING & FEY, 2004). A figura 5 apresenta um modelo de curva S de um sistema tecnológico.

²⁹ A eficácia está relacionada à maximização da funcionalidade e da confiabilidade do sistema.

³⁰ A eficiência está relacionada à minimização do uso dos recursos disponíveis, tanto interna quanto externamente.

³¹ Os custos podem ser financeiros, em um sentido estrito, ou referentes a fatores potencialmente deletérios, como tamanho, peso, número de componentes, consumo de energia e defeitos em geral, em um sentido amplo.

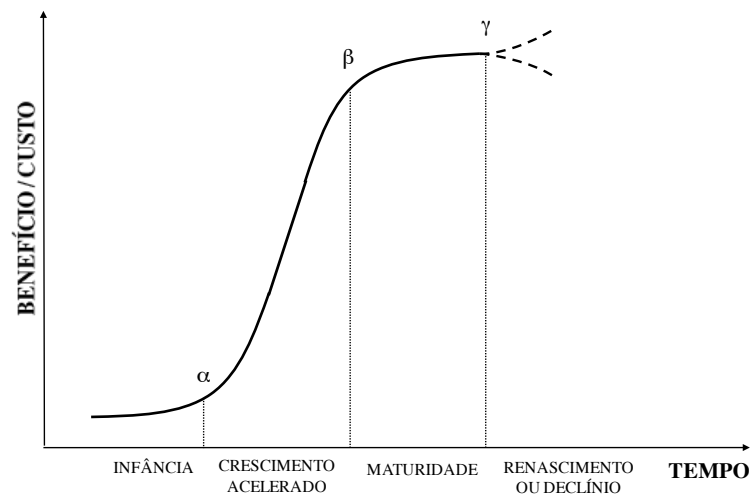


Figura 5 – Esquema de Curva S.
 Fonte: Adaptado de Clausing & Fey (2004).

A análise da curva S revela que, inicialmente, a taxa de desenvolvimento do sistema é relativamente baixa, o que corresponde a uma fase anterior à sua inserção no mercado ou sua infância, obtendo um crescimento acelerado a partir do momento em que ocorre tal inserção. A evolução prossegue até o ponto de maturidade do produto no mercado, quando o crescimento da razão entre benefício e custo começa a arrefecer, podendo o sistema experimentar um renascimento ou entrar em declínio. As letras α , β e γ representam, respectivamente, os momentos de término das fases de infância, crescimento acelerado e maturidade. Por fim, em caso de declínio, um novo sistema com maior razão entre benefício e custo deve ser inserido no mercado. Além disso, a curva S está associada à atividade inventiva, como apresentado na figura 6 (CLAUSING & FEY, 2004).

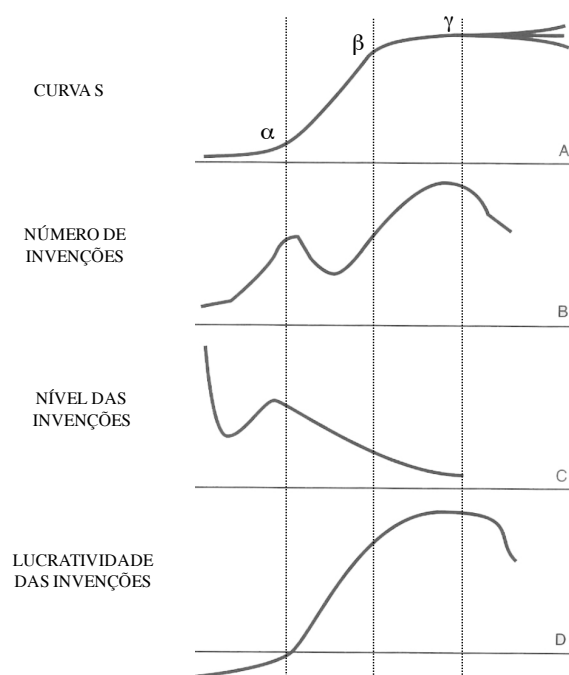


Figura 6 – Relação entre a curva S e a atividade inventiva.
 Fonte: Adaptado de Altshuller (1979) *apud* Carvalho (2007).

Na figura 6, o gráfico A mostra um exemplo de curva S e está associado ao gráfico B que representa o número de invenções em função do tempo, no qual há dois picos correspondentes, respectivamente, aos momentos α e γ , isto é, aos términos das fases de infância e de maturidade. No primeiro caso, o grande número de invenções está relacionado ao início da fase de crescimento rápido e possibilitam um retorno cada vez maior face ao custo de produção a partir da inserção do sistema no mercado, enquanto no segundo caso, o grande número de invenções está relacionado aos esforços de permanência do produto no mercado com taxas satisfatórias de retorno financeiro, o que representa uma tentativa de promover o renascimento do sistema e evitar o seu declínio. Além disso, o gráfico C apresenta os níveis de invenção associados aos diferentes estágios da vida útil do sistema. No início da fase de infância, invenções de alto nível³² possibilitam o surgimento do sistema tecnológico, a partir de quando há uma redução gradual do nível das invenções associadas ao sistema, com exceção do pico associado ao início da fase de crescimento acelerado, quando há um aumento do nível das invenções necessárias para a solução de problemas relacionados à manufatura ou

³² Níveis 4 e 5.

marketing. Por fim, o gráfico D apresenta a relação entre a lucratividade das invenções e os demais gráficos, mostrando que a variação do retorno financeiro das invenções é compatível com a variação da razão entre benefício e custo associada ao sistema no decorrer de seu ciclo de vida (CLAUSING & FEY, 2004).

A **lei de redução do envolvimento humano** atesta que os sistemas tecnológicos evoluem de forma demandar menos intervenção humana. Essa evolução permite a redução da dependência do sistema com relação à habilidade humana, bem como da sua sujeição a eventuais erros (GADD, 2011). Assim, os sistemas evoluem no sentido de executar funções de forma repetitiva, reduzindo o envolvimento humano direto na operação do sistema (LABOURIAU, 2013). Gadd (2011) afirma que a substituição do envolvimento humano abarca, sequencialmente, as partes³³ principais de um sistema compostas por ferramentas, motor, transmissão e meios de controle, além de abarcar, por último, a própria função decisória do sistema.

A **lei de desenvolvimento não uniforme das partes** atesta que as diversas partes de um sistema evoluem em ritmos diferentes segundo suas próprias curvas S, sendo que quanto mais complexo for o sistema menor a uniformidade evolutiva de suas partes componentes, o que cria conflitos cujas resoluções requerem o desenvolvimento de novas invenções. Disso decorre que a natureza hierárquica dos sistemas tecnológicos determina a estratégia de desenvolvimento do sistema e, portanto, a inovação tecnológica ocorre tanto no nível de componente com no nível da arquitetura do sistema. No primeiro caso, a inovação modifica uma parte específica do sistema responsável por exercer uma função determinada, enquanto no segundo caso a inovação modifica a forma como os componentes do sistema se ligam (CLAUSING & FEY, 2004).

A **lei de aumento da complexidade seguida de simplificação** atesta que um sistema tecnológico evolui através da adição de elementos a um sistema singular, que se transforma em um sistema homogêneo³⁴ ou um sistema heterogêneo³⁵ (SHULYAK,

³³ Clausing & Fey (2004), com relação às quatro partes principais de um sistema tecnológico autônomo, afirmam que as ferramentas compreendem os dispositivos que executam diretamente a função primária do sistema, a transmissão transforma a energia produzida pelo motor em energia a ser diretamente aplicada aos meios de trabalho, e os meios de controle compreendem os dispositivos que permitem a troca de parâmetros de operação das demais partes principais.

³⁴ De acordo com Shulyak (2005), o sistema homogêneo é formado a partir da adição de elementos similares cuja combinação confere novas propriedades ao sistema.

³⁵ De acordo com Shulyak (2005), o sistema heterogêneo é formado a partir da adição de elementos diferentes cuja combinação confere novas funcionalidades ao sistema.

2005). Essa evolução de um sistema tecnológico através da adição de elementos implica em um aumento de complexidade seguido da rejeição de elementos em excesso, o que acarreta em aumento da simplicidade do novo sistema. Há, portanto, um processo evolutivo cíclico no qual após o aumento de complexidade há o subsequente aumento da simplicidade do sistema (LABOURIAU, 2013). Essa evolução cíclica permite que um sistema homogêneo com determinada funcionalidade evolua para um sistema heterogêneo de maior funcionalidade, e este para um sistema homogêneo de funcionalidade igual ao anterior e maior que o primeiro, através de um processo de convolução pelo qual os componentes auxiliares redundantes são eliminados de forma a gerar um sistema homogêneo de maior funcionalidade do que o inicial (CLAUSING & FEY, 2004).

A lei do aumento do dinamismo, flexibilidade e controlabilidade atesta que os sistemas tecnológicos tendem a sofrer a transição de uma estrutura rígida para uma estrutura flexível (SHULYAK, 2005). A evolução do sistema em direção ao aumento de flexibilidade o torna capaz de se adaptar a variações³⁶ ambientais e de desempenho através de transições de um sistema único para um sistema múltiplo e deste para um sistema de variação contínua (CLAUSING & FEY, 2004). Além disso, tal evolução pode seguir diferentes linhas, como a que parte de um sistema rígido, com componentes fixos, para um sistema modular, cujos componentes podem ser combinados de diferentes formas, possibilitando a adequação funcional crescente de acordo com demandas específicas (CLAUSING & FEY, 2004).

A lei de aumento da segmentação e uso de campos atesta que as estruturas físicas que constituem os sistemas tecnológicos tendem a evoluir segundo uma sequência de sistemas cujas configurações apresentem estrutura sólida monolítica ou segmentada, bem como contenham elementos não sólidos como líquido, gel ou pó, além de gás ou plasma e, por fim, o uso de campos de força. A segmentação não se refere apenas às estruturas físicas do sistema, mas também à transformação de uma ação contínua em ações executadas segundo diferentes padrões e sentidos. Assim, a

³⁶ Clausing & Fey (2004) citam o caso do limpador de para-brisas que era, originalmente, constituído por um componente retilíneo rígido feito para deslizar sobre os vidros planos dos primeiros para-brisas. À medida que estes últimos passaram a apresentar curvatura para aumentar a eficiência aerodinâmica, os limpadores passaram a ser flexíveis para acompanhar essa curvatura.

evolução de um sistema implica na segmentação de suas partes e das ações por ele executadas (GADD, 2011).

A **lei de combinação das partes** atesta que a evolução de um sistema ocorre através de variações das interações entre os elementos do sistema (GADD, 2011). Assim, a condição necessária para a existência de um sistema tecnológico eficaz é a coordenação das partes do sistema, isto é, os sistemas evoluem no sentido de aprimorar as interações entre os elementos que os compõem (CLAUSING & FEY, 2004). Tal aprimoramento das interações entre os elementos do sistema visa o aumento de desempenho e a compensação de efeitos indesejáveis (LABOURIAU, 2013).

5. Integração entre QFD e TRIZ no Processo de Desenvolvimento de Produto (PDP)

5.1. O Projeto Conceitual no PDP

O Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP) compreende um conjunto de atividades executadas por uma organização com o objetivo de conceber, projetar e comercializar um produto. Essas atividades se iniciam a partir da percepção de oportunidades de mercado e terminam com o estabelecimento dos processos de produção, venda e distribuição do produto, o qual pode ser um bem físico ou um serviço a ser prestado. O PDP, portanto, possui caráter multidisciplinar e abarca atividades ligadas a diferentes funções de uma organização, dentre as quais se destacam as funções centrais de *marketing*, engenharia e fabricação (ULRICH & EPPINGER, 2012).

O PDP gera um vasto conjunto de alternativas conceituais de produtos, o qual é continuamente reduzido à medida em que aumentam as especificações do produto a ser desenvolvido até que este possa ser inserido no sistema produtivo da organização. Essas alternativas iniciais são geradas a partir da identificação de oportunidades que coadunem com os objetivos estratégicos da organização, sejam elas oriundas de conhecimento tecnológico específico ou de demanda do mercado, e compreendem descrições acerca da forma, função e características do produto. O desenvolvimento conceitual parte, portanto, da identificação e priorização das necessidades do mercado de forma a estabelecer especificações técnicas iniciais compostas por requisitos a partir dos quais os conceitos são gerados, selecionados e testados visando definir as especificações técnicas finais do produto (ULRICH & EPPINGER, 2012). Sobre isso, Rozenfel *et. al.* (2006) afirmam o seguinte:

[...] na fase de Projeto Conceitual, as atividades da equipe de projeto relacionam-se com a **busca, criação, representação e seleção** de soluções para o problema de projeto. A **busca** por soluções já existentes pode ser feita pela observação de produtos concorrentes ou similares descritos em livros, catálogos e bases de dados de patentes, ou até mesmo *benchmarking*. O processo de **criação** de soluções é livre de restrições, porém direcionado pelas necessidades, requisitos e especificações de projeto do produto, e auxiliado por

métodos de criatividade. A **representação** das soluções pode ser feita por meio de esquemas, croquis e desenhos que podem ser manuais ou computacionais, e é muitas vezes realizada em conjunto com a **criação**. A **seleção** de soluções é feita com base em métodos apropriados que se apoiam nas necessidades ou requisitos previamente definidos (ROZENFELD, *et al.*, 2006, p. 236).

A seleção conceitual visa, portanto, a escolha dos sistemas tecnológicos com maior potencial de sucesso para posterior desenvolvimento, o que é relevante em um contexto de restrição de recursos, especialmente de natureza financeira e temporal. Para tanto, o processo Pugh oferece uma abordagem de seleção que tem início com os sistemas tecnológicos cujos conceitos foram gerados na fase de desenvolvimento conceitual, a partir dos quais novos conceitos são gerados, em geral através de variações e conjugações dos conceitos originais (CLAUSING & FEY, 2004). A satisfação de forma equivalente de um determinado requisito, ainda que relevante, por todos os conceitos, impede a sua utilização como fator de seleção conceitual. Os requisitos e conceitos são então inseridos em uma matriz cujas linhas são formadas pelos primeiros e cujas colunas são formadas pelos segundos, dos quais um deve ser escolhido como referência para comparação com os demais conceitos, segundo os critérios de superioridade (+), inferioridade (-) e similaridade (=) no atendimento a cada requisito considerado, conforme o modelo de matriz Pugh apresentado na figura 7.





		CONCEITOS			
					
R E Q U I S I T O S	A	+	-	+	R E F E R Ê N C I A
	B	+	=	-	
	C	-	=	+	
	D	+	-	+	

Figura 7 – Esquema de Matriz de seleção conceitual.
Fonte: Adaptado de Clausing & Fey (2004).

A matriz de seleção conceitual possibilita a geração de novos conceitos híbridos que possam conjugar as características dos conceitos originais mais adequadas para cada demanda do sistema. Essa geração é ampliada à medida que outros conceitos são definidos como referência, em um processo iterativo que resulta na seleção do conceito a ser implementado no sistema tecnológico (CLAUSING & FEY, 2004). Assim, a combinação dos princípios de solução individuais enseja a formação dos princípios de solução totais para o produto, de forma que a concepção de produto obtida consista em uma descrição aproximada das funcionalidades, tecnologias e formas do produto, as quais podem ser expressas por esquemas gráficos acompanhados ou não por uma explicação textual (ROZENFELD, *et al.*, 2006).

A definição do conceito de produto, com o consequente estabelecimento das especificações técnicas gerais do produto, é o ponto de partida para a definição da arquitetura do produto, abarcando seus subsistemas e componentes, a partir da qual é definida a especificação completa do produto, no que concerne aos aspectos dimensionais e materiais de todos os seus elementos. O estabelecimento da especificação técnica completa do produto, por sua vez, permite a construção de protótipos que são testados de forma a refiná-la, permitindo a inserção do produto no sistema de produção de forma gradual até a sua disponibilização comercial definitiva. A inserção gradual do produto no sistema produtivo permite o treinamento dos elementos humanos diretamente envolvidos na atividade produtiva, bem como a correção de eventuais problemas de processo. Após o efetivo lançamento do produto no mercado, o seu processo de desenvolvimento pode ser avaliado tanto de uma perspectiva comercial como de uma perspectiva técnica, de forma a gerar informações que possam subsidiar futuros desenvolvimentos no âmbito da organização. Assim, o PDP identifica alternativas conceituais a partir de oportunidades que coadunem com os objetivos estratégicos da organização, elegendo a que melhor possa atender às restrições técnicas e econômicas impostas de forma a definir as especificações finais do produto para sua inserção no sistema produtivo da organização (ULRICH & EPPINGER, 2012).

5.2. Integração entre QFD e TRIZ

A estratégia de inovação deve ser calcada em dois pilares básicos, que são a identificação das necessidades de mercado e das potenciais tecnologias a serem consideradas (CLAUSING & FEY, 2004). A identificação das demandas de mercado, sejam elas implícitas ou explícitas, constitui uma estratégia de inovação *market-pull*³⁷ que estabelece quais produtos devem ser oferecidos para satisfazer o cliente e atender a oportunidade identificada no mercado. Por outro lado, o desenvolvimento de tecnologias disruptivas visa atender demandas latentes desconhecidas pelo próprio mercado, o que constitui uma estratégia de inovação *technology-push*³⁸, a qual oferece para o mercado inovações baseadas em novas tecnologias que criam novos produtos redefinindo o padrão competitivo (MAICON, *et al.*, 2012). Ainda de acordo com Maicon *et al.* (2012):

Da mesma forma que um produto ou serviço inovador [...] pode surgir a partir de uma demanda de mercado [...] e exigir, para o seu desenvolvimento, uma tecnologia [...], o contrário também é possível. O domínio de uma tecnologia por determinada organização pode motivar a criação de novos produtos, que demandarão a geração de novos negócios e mercados para se tornarem comercialmente viáveis (MAICON, *et al.*, 2012, p. 10).

O equilíbrio entre as estratégias de inovação *market-pull* e *technology-push* constitui, atualmente, um grande desafio para as organizações, uma vez que ambas demandam processos distintos e complementares para o desenvolvimento do processo de inovação. Entretanto, a sustentabilidade dos negócios depende da coexistência de tais estratégias, o que torna premente a necessidade de integração de métodos que atendam tais demandas (MAICON, *et al.*, 2012).

Clausing & Fey (2004) assinalam ainda que a relutância das organizações em lançar tecnologias disruptivas resulta do risco de não serem aceitas pelo mercado, o que

³⁷ Expressão inglesa que significa 'puxada pelo mercado'.

³⁸ Expressão inglesa que significa 'empurrada pela tecnologia'.

ressalta a importância da identificação da alternativa de desenvolvimento tecnológico mais promissora em consonância com as necessidades do mercado. Em suas palavras:

A questão básica é: As pessoas irão querer esta nova tecnologia se formos bem-sucedidos em atingir todo o seu potencial? Se a resposta for não, então nós não deveríamos investir no seu desenvolvimento (CLAUSING & FEY, 2004, p. 29, tradução do autor).

Sobre essa questão, Ahmed & Amagoh (2010) ressaltam a existência de empresas que, apesar de oferecerem produtos de alta qualidade, apresentam baixa taxa de utilização de sua capacidade produtiva devido à baixa demanda de tais produtos, o que é causado pela falta de adequada percepção das necessidades dos clientes.

As perspectivas comercial e tecnológica refletem o tipo de estratégia de inovação a ser desenvolvido pela organização, ou seja, se voltada para inovação incremental ou disruptiva. De acordo com Christensen (2003 *apud* TROTT, 2012), as inovações incrementais ou sustentadoras oferecem melhorias em produtos instituídos através de clientes existentes, enquanto as inovações disruptivas ou radicais oferecem melhorias além das demandadas, criando novos mercados que podem, eventualmente, englobar o mercado existente. Entretanto, Christensen (2003 *apud* TROTT, 2012) estatui que a apreensão das necessidades do cliente pela organização pode ser prejudicial para a atividade de inovação tecnológica, pois limita a busca por soluções não exigidas por seus clientes atuais. Essa limitação pode ser determinante para o fracasso da empresa em momentos de modificação radical do mercado, o que se respalda pelo fato de que *“[...] as companhias líderes não sustentaram suas posições no topo de seus setores quando tecnologias ou mercados mudaram, porque ignoraram o surgimento das respectivas rupturas tecnológicas”* (CHRISTENSEN, 1999 *apud* TROTT, 2012).

Clausing & Fey (2004) corroboram a necessidade de abordagens distintas ao afirmar que os métodos geralmente utilizados para a avaliação de potencial mercado para novos produtos não se aplicam à estratégia de inovação radical, uma vez que tais métodos consistem em extrapolações incrementais com relação ao atendimento da demanda corrente, enquanto a inovação radical representa uma ruptura de tal demanda, pois satisfaz mercados que, até então, consistiam apenas em necessidades

latentes. Ao contrário, a estratégia de inovação incremental se sustenta no fato de que a tecnologia em questão e a reação do mercado a ela se encontram prontamente disponíveis.

Há diversas ferramentas disponíveis para a atividade de prospecção de mercado e, portanto, de suporte às estratégias de inovação incremental, desde as mais simples, como a pesquisa de mercado até as mais sofisticadas, como o processo de sondar e aprender³⁹ e a busca simultânea de múltiplas alternativas⁴⁰. Enquanto as duas últimas estão associadas com potencial desperdício de tempo e recursos, a primeira pode não ser suficiente para traduzir os anseios dos clientes em requisitos de forma a garantir o desdobramento da demanda em todas as fases da produção, característica principal do QFD (CLAUSING & FEY, 2004).

Da mesma forma, a atividade de prospecção tecnológica dispõe de diversas ferramentas, tais como o método Delphi⁴¹, a modelagem matemática⁴², a análise de cenário⁴³ e o método morfológico⁴⁴. Essas ferramentas, apesar de apontar para as potenciais características futuras de sistemas tecnológicos, não definem como tais características são atingidas. Além disso, a dependência de especialistas acarreta limitações inerentes à subjetividade e à inevitável parcialidade acerca do conhecimento científico e tecnológico. Essas ferramentas, em última análise, seguem modelos de tentativa e erro, o que demanda a utilização de ferramentas cuja principal proposta seja, exatamente, a eliminação da aleatoriedade da prospecção tecnológica, como a TRIZ (CLAUSING & FEY, 2004).

Neste contexto, a integração entre QFD e TRIZ permite a prospecção eficaz das necessidades de mercado e das potenciais direções de evolução tecnológica que ensejem novos produtos, considerando, portanto, as perspectivas comercial e tecnológica da inovação. A conjugação de ambas as capacidades prospectivas permite, portanto, não apenas a satisfação das demandas direta ou indiretamente invocadas pelos usuários, mas também a concepção de soluções baseadas em sistemas

³⁹ Método que consiste na inserção de versões preliminares de produtos e tecnologias no mercado, seguida de coleta de informações e reinserção de versões atualizadas.

⁴⁰ Método que consiste no desenvolvimento simultâneo de diferentes alternativas tecnológicas.

⁴¹ Método que consiste na submissão de questionário a um grupo de especialistas em determinada área com o objetivo de formar consenso sobre determinado assunto.

⁴² Método que consiste na criação de modelo a partir de dados fornecidos por especialistas de determinada área.

⁴³ Método que consiste na criação de diversos cenários que refletem tendências sociais e tecnológicas.

⁴⁴ Método que consiste na criação de um sistema futuro a partir da combinação de diferentes atributos de sistema.

tecnológicos que proporcionam experiências de uso inteiramente novas. Nesse sentido, GADD (2011) afirma que a capacidade preditiva da TRIZ, consubstanciada nas suas leis de evolução tecnológica, possibilita a antecipação de demandas de mercado, isto é, “[...] as tendências [evolutivas] da TRIZ oferecem padrões [...] [que apontam] para direções futuras de produtos e processos com a maior probabilidade de sucesso no atendimento às necessidades de mercado” (GADD, 2011, p. 248, tradução do autor). Assim, a previsão de evolução tecnológica busca a apreensão das futuras necessidades de mercado, o que ressalta a relevância da integração entre QFD e TRIZ, uma vez que ambas as abordagens buscam a apreensão das necessidades de mercado, mas sob distintas perspectivas temporais, isto é, enquanto o QFD identifica as necessidades presentes, a TRIZ identifica prováveis necessidades futuras através dos padrões evolutivos. Além disso, ainda que a identificação das demandas dos clientes determine necessidades implícitas, a manifestação do usuário é evitada de viés inerente à sua bagagem de conhecimento e experiência.

A identificação de potenciais direções evolutivas em direção ao sistema ideal permite a concepção de um sistema que desempenhe as funções primárias ou secundárias de forma mais eficaz e eficiente, isto é, de forma mais satisfatória e com um menor consumo de recursos de quaisquer naturezas. A figura 8 compara os métodos QFD e TRIZ no que concerne aos seus respectivos impactos sobre diversos aspectos atinentes ao desenvolvimento de produtos.

	QFD	TRIZ
SATISFAÇÃO DO CLIENTE	●	○
QUALIDADE DE PRODUTO	●	●
LUCRATIVIDADE	●	●
PARTICIPAÇÃO DE MERCADO (“MARKET SHARE”)	●	●
INOVAÇÃO	●	●
PREVISIBILIDADE DE FALHAS		●
PROTEÇÃO DE PROPRIEDADE INTELECTUAL		●
PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA		●

○ IMPACTO FRACO ● IMPACTO MODERADO ◎ IMPACTO FORTE

Figura 8 – Sinergia entre QFD e TRIZ.
Fonte: Adaptado de Terninko *et al.* (1998).

As ferramentas da TRIZ de resolução de contradições podem também ser integradas de forma auxiliar ao QFD, no que concerne à resolução de conflitos surgidos da necessidade de implementação das diversas funcionalidades do sistema advindas dos requisitos técnicos identificados a partir dos requisitos do cliente. Além disso, os princípios de solução de conflitos do método TRIZ podem ser utilizados não apenas no que tange aos requisitos de produto, mas em todas as fases do QFD, de forma a resolver contradições que envolvam requisitos de projeto, requisitos de fabricação, bem como requisitos operacionais, de forma a reduzir custos e otimizar a produção como um todo, isto é, não apenas no que tange à fabricação, mas também no que tange às operações de logística e manutenção (YEH *et al.*, 2011). Neste contexto, a “[...] *adição da [...] TRIZ ao QFD traz melhorias significativas às áreas de inovação de produto e processo [...]*” (TERNINKO *et al.*, 1998, p. 01, tradução do autor).

Como o processo de inovação requer a assunção de compromissos entre as características contraditórias do problema, a solução ideal do problema pode não ser alcançada, o que demanda uma solução da contradição através do procedimento sistemático de resolução de conflitos apresentado pelo método TRIZ que utiliza uma matriz de correlação entre princípios de engenharia associados aos requisitos técnicos com princípios de solução (ROZENFELD *et al.*, 2006). Esse procedimento possibilita a eliminação de efeitos indesejáveis através da remoção ou modificação de um componente conflitante ou da inserção de um componente intermediário (CLAUSING & FEY, 2004).

5.3. Modelo de Otimização Sistemática de Requisitos de Engenharia

O modelo de otimização sistemática de requisitos de engenharia calcado na integração QFD/TRIZ proposto é estruturado a partir da definição da estratégia de seleção de documentos de registro de patente de forma a identificar os requisitos técnicos correspondentes às possíveis tendências de evolução tecnológica. Para tanto, a definição dos termos de pesquisa descritivos do sistema tecnológico em desenvolvimento deve ser acompanhada do estabelecimento de critérios de seleção consubstanciados em filtros específicos. Tais critérios devem garantir a delimitação

tecnológica do sistema propriamente dito, de forma a não abarcar o supersistema no qual aquele se insere, bem como não limitar a obtenção de resultados atinentes apenas a subsistemas específicos.

As inovações dispostas nos documentos de registro de patente selecionados permitem o estabelecimento dos requisitos técnicos de produto e dos requisitos de usuário, cuja disposição deve indicar diretamente ao usuário as características e funcionalidades que o sistema deve apresentar, de forma que o usuário possa avaliá-las através da atribuição de valores associados à relevância de cada requisito segundo escala numérica de 1 a 5, na qual 1 indica que o requisito é pouco relevante e 5 indica que o requisito é muito relevante.

As relações de interdependência entre os requisitos técnicos e os requisitos de usuário são estabelecidas através de matriz QFD segundo sequência numérica que indica a influência de um ou mais requisitos técnicos na satisfação de cada requisito de usuário. Dessa forma, os números 1, 3 e 9 indicam, respectivamente, relações de dependência fraca, média e forte. Além disso, a mesma matriz apresenta, em sua porção superior, as interações entre os diversos requisitos técnicos através dos símbolos + e -, os quais indicam, respectivamente, os casos de interação positiva e negativa. Enquanto, no primeiro caso, um requisito coaduna com o outro de forma promover o incremento mútuo dos seus efeitos, no segundo caso há um conflito entre os requisitos, seja porque ambos não podem coexistir fisicamente em um mesmo sistema, ainda que causem o mesmo efeito, ou porque o incremento do efeito causado por um dos requisitos acarreta a deterioração do efeito causado pelo outro.

Os requisitos técnicos de produto cujas interações negativas sejam contraditórias, isto é, que consubstanciam contradições técnicas, devem ensejar a escolha de parâmetros de engenharia a partir da lista apresentados no Apêndice B, de forma que a característica funcional de cada requisito técnico seja associada ao parâmetro de engenharia que melhor lhe refletir. Em seguida, os parâmetros escolhidos são inseridos na Matriz de Contradição constante do Apêndice D, na qual as linhas indicam os parâmetros a serem melhorados e as colunas indicam os parâmetros cuja deterioração deve ser evitada. A coordenada relativa aos parâmetros escolhidos fornece, então, um conjunto de números correspondentes aos princípios inventivos

listados no Apêndice C juntamente com os seus correspondentes subprincípios inventivos.

Os princípios e subprincípios inventivos ensinam as soluções capazes de alterar as configurações dos requisitos de forma a superar as contradições técnicas existentes. Tais soluções devem ser expressas através de novos requisitos técnicos de produto, os quais são, então, integrados para a definição do conceito de referência. A comparação entre as soluções previstas pelos requisitos técnicos originais e o conceito de referência é realizada através da elaboração de matriz de seleção conceitual que contraponha os requisitos de usuário e os requisitos técnicos originais, de forma a permitir a comparação entre a satisfação dos requisitos de usuário promovida pelo conceito de referência e a satisfação promovida pela integração do conceito de referência com cada requisito técnico. Para tanto, o sinal positivo é atribuído aos requisitos técnicos cuja integração ao conceito de referência aumentam a satisfação de determinada demanda de utilização e o sinal negativo é atribuído aos requisitos técnicos cuja integração ao conceito de referência reduzam a satisfação de determinada demanda de utilização. Os requisitos técnicos já internalizados ao conceito de referência através da implementação dos princípios inventivos satisfazem as demandas correspondentes de forma equivalente ao conceito de referência, razão pela qual a tais requisitos é atribuído o sinal de igualdade. Por fim, os requisitos técnicos originais integráveis, ou seja, aqueles requisitos técnicos aos quais foi atribuído o sinal positivo, são internalizados no conceito de referência para a definição do conceito final de produto.

O modelo de otimização sistemática de requisitos de engenharia pode ser estruturado através das seis etapas consubstanciadas no protocolo apresentado na figura 9, sendo que cada etapa abarca um determinado conjunto de ações. Assim, as ações determinadas pelo protocolo possibilitam a obtenção do conceito de produto a partir da extração de requisitos de documentos de registro de patentes.

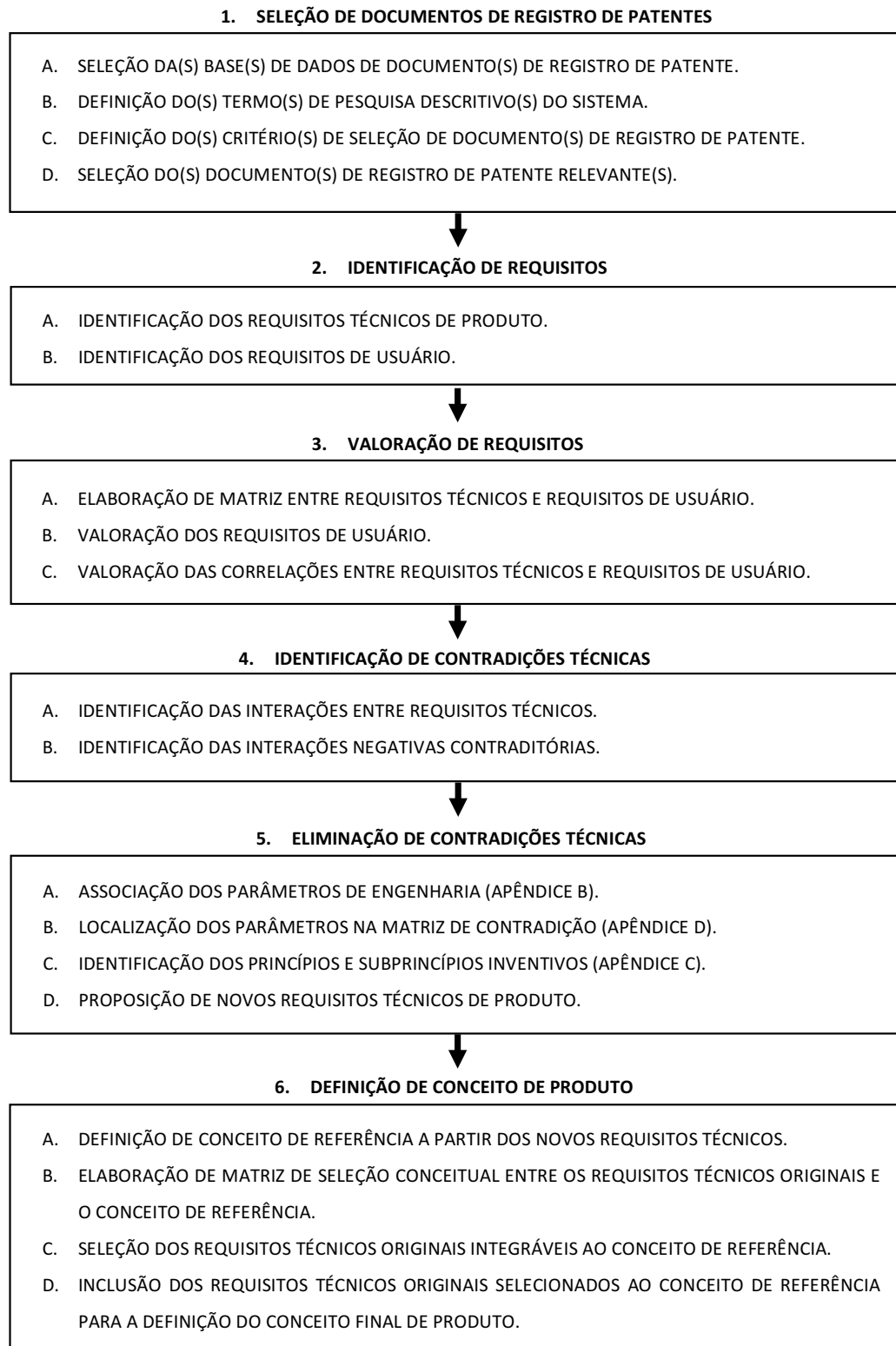


Figura 9 – Protocolo de Otimização Sistemática de Requisitos de Engenharia.

Fonte: Autor.

As quatro primeiras etapas do protocolo correspondem ao primeiro nível de integração do modelo de otimização sistemática de requisitos de engenharia, no qual

os requisitos técnicos de produto são identificados e valorados através das correlações estabelecidas com os requisitos de usuário. Além disso, o primeiro nível de integração termina com a identificação das contradições técnicas existentes entre os requisitos técnicos de produto.

As duas últimas etapas do protocolo correspondem ao segundo nível de integração do modelo de otimização sistemática de requisitos de engenharia, no qual as contradições técnicas são eliminadas através das soluções propostas pelos princípios inventivos. Tais soluções são então integradas de forma a definir o conceito de referência e, subsequentemente, o próprio conceito final de produto.

6. Desenvolvimento Conceitual de Munição de Morteiro

6.1. Munição de Morteiro

O termo ‘munição’ abarca um vasto conjunto de artefatos que possuem a capacidade de serem disparados em trajetórias retilíneas ou curvilíneas em direção a um alvo determinado ou suas proximidades. Para tanto, esses artefatos possuem componentes projéteis, os quais podem ser lançados pela ação de propelentes e sofrer detonação através de sistemas explosivos internos. Nesse conjunto estão inclusos engenhos que variam *“desde projéteis de pistolas até projéteis antitanques de alta velocidade, desde granadas [de mão] até granadas pesadas de artilharia e desde foguetes simples de iluminação até mísseis balísticos intercontinentais”* (LEE, 1985, p. 57, tradução do autor).

De acordo com Lee (1985), as munições de artilharia são empregadas por sistemas de artilharia, os quais abarcam⁴⁵ os sistemas de tiro indireto, empregados, segundo Norris (2002), quando o alvo não se encontra na linha de visão de seus operadores. Ao contrário dos tiros diretos, que possibilitam alta precisão de impacto pontual para a destruição de alvos em distâncias que variam entre dois e três quilômetros, os tiros indiretos não possibilitam precisão de impacto pontual, mas podem ser empregados em distâncias que variam entre quarenta e cinquenta quilômetros, tanto para atingir o território inimigo, como para proteger regiões limítrofes de posições aliadas (LEE, 1985).

Os sistemas de tiro indireto compreendem os morteiros, os obuseiros e os lançadores de foguetes múltiplos⁴⁶, enquanto o canhão é um exemplo de sistema de tiro direto. O morteiro constitui o tipo mais simples de sistema de artilharia e possui boa relação entre custo e benefício, uma vez que apresenta eficácia de projeção combinada com eficiência da taxa de disparo. Sua simplicidade decorre do fato de utilizar o próprio solo como provedor da reação normal à ação do propelente, o que possibilita a utilização de armamento sem estrutura de recuo e, portanto, mais leve. Essa característica, no entanto, limita a ação do sistema a disparos em ângulos elevados⁴⁷ e

⁴⁵ Além dos sistemas de tiro indireto, os sistemas de artilharia compreendem também os sistemas de defesa aérea.

⁴⁶ Multiple Launch Rocket System (MLRS).

⁴⁷ Ângulos entre 45° e 90° (NORRIS, 2002).

com velocidades subsônicas, o que acarreta o alcance de distâncias menores do que as munições disparadas por obuseiros, os quais possuem estruturas de recuo, apesar de ambos apresentarem capacidades similares de precisão⁴⁸ (LEE, 1985). Na figura 10 é apresentado um esquema comparativo entre as trajetórias de diferentes sistemas de tiro, no qual verifica-se a diferença entre o tiro direto de canhão e os tiros indiretos de morteiro, obuseiro e lançador de foguetes, bem como a diferença de alcance entre os últimos, com destaque para a possibilidade de emprego do morteiro para áreas de difícil acesso aos demais sistemas de tiro, apesar de seu menor alcance.

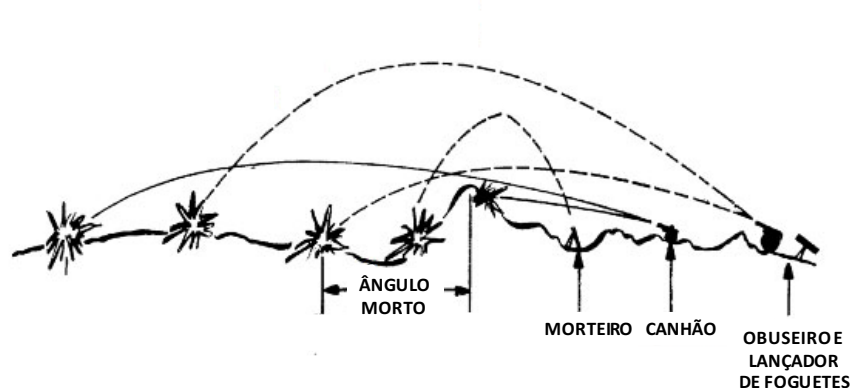


Figura 10 – Esquema de trajetórias de sistemas balísticos.
Fonte: Adaptado de Guia de Operações Militares (2012).

O morteiro foi desenvolvido pelo exército britânico para emprego a partir de trincheira durante a primeira guerra mundial⁴⁹ e consiste em um tipo de armamento composto por um tubo de aço com a extremidade posterior fechada e apoiada sobre uma placa base e a extremidade anterior apoiada por um bipé ou tripé (NORRIS, 2002). A figura 11 apresenta um esquema de morteiro.

⁴⁸ Por exemplo, o morteiro inglês de calibre 81 mm lança 50% de sua carga em uma área de 60 metros de comprimento por 30 metros de largura, com alcance de 5 quilômetros, enquanto o obuseiro inglês *Light Gun* de calibre 105 mm lança 50% de sua carga em uma área de 50 metros de comprimento por 34 metros de largura, com alcance de 17 quilômetros (LEE, 1985).

⁴⁹ O projeto desenvolvido por Sir Wilfred Stokes em 1915, no entanto, foi inspirado em um modelo ainda mais antigo, do século 18, desenvolvido por Menno van Coehoorn (NORRIS, 2002).

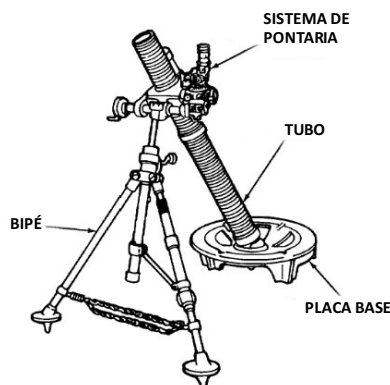


Figura 11 – Esquema de morteiro.
Fonte: Adaptado de Guia de Operações Militares (2012).

O morteiro é capaz de lançar granadas de ferro fundido carregadas com explosivo, cuja detonação é provocada por espoleta localizada na parte anterior do projétil, através de acionamento por temporização. A propulsão é fornecida por cargas localizadas na parte posterior do projétil, cuja deflagração é provocada pela reação do pino de percussão, localizado na base do tubo, à força exercida pelo impacto da munição após sua queda através do tubo (NORRIS, 2002). A figura 12 apresenta dois esquemas de munição de morteiro que permitem a visualização da munição e de seus subsistemas constituintes.

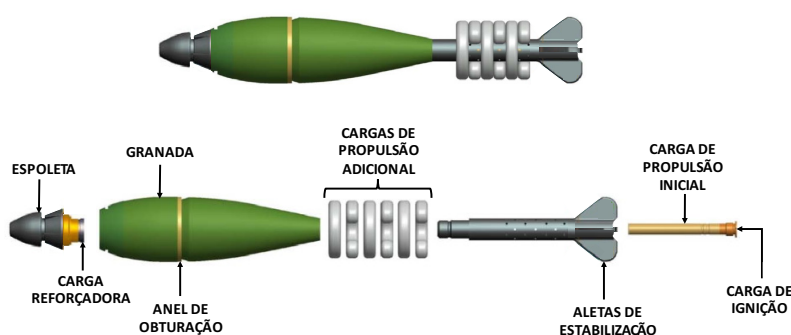


Figura 12 – Esquemas de munição de morteiro e seus principais componentes.
Fonte: Adaptado de Think Defence (2014).

Apesar da grande variedade de soluções decorrentes dos mais distintos requisitos táticos, tais como cobertura⁵⁰ e alvo⁵¹, as munições de morteiro possuem funcionalidades similares, as quais compreendem sistemas de propulsão, estabilização

⁵⁰ Os requisitos de cobertura estão relacionados ao alcance do projétil.

⁵¹ Os requisitos de alvo compreendem pessoas, veículos blindados ou edifícios.

e detonação, podendo ainda haver sistemas opcionais de sinalização.

O subsistema de estabilização aerodinâmica é composto, principalmente, pelas aletas conferem a estabilização do projétil durante a sua trajetória em direção ao alvo. Além disso, o próprio formato aerodinâmico do projétil visa garantir que este sempre atinja o alvo com a sua ponta na qual se localiza a espoleta, de forma a provocar a detonação através do impacto (NORRIS, 2002). Como as munições de morteiro são, em geral, disparadas de tubos de alma lisa, ou seja, tubos cuja superfície interna é lisa e não raiada para promover a rotação do projétil, elas podem ser facilmente estabilizadas por aletas localizadas na base da munição. O efeito desejado das aletas é aumentar a área da superfície do projétil na parte posterior ao seu centro de massa, de forma que a ação da pressão atmosférica sobre as aletas mantenha o projétil na sua trajetória (RYAN, 1982).

O subsistema de propulsão confere à munição de morteiro a propulsão balística necessária ao seu lançamento a partir de carga propelente localizada na base⁵², na qual também estão localizadas as aletas de estabilização aerodinâmica. Para tanto, a percussão externa aciona a carga de ignição no momento do disparo, a qual provoca a deflagração da carga de propulsão inicial. Esta, por sua vez, aciona as cargas de propulsão adicional que são inseridas na parte externa do tubo porta-carga⁵³ pelo operador de forma a permitir a variação do alcance do tiro. As cargas de propulsão adicional consistem em discos semicirculares que são manualmente inseridos ou removidos da munição (NORRIS, 2002). A queima da carga propelente produz rápida expansão de gases, criando grande pressão que impulsiona o projétil através do tubo com elevada aceleração. Para tanto, a carga propelente consiste em um explosivo cujo acionamento causa a sua deflagração e não a sua detonação instantânea (LEE, 1985).

O subsistema de detonação é constituído, eminentemente, pela carga explosiva de arrebetamento cuja detonação provoca a ruptura da granada metálica que a contém, de forma a causar a projeção de fragmentos em um ângulo de 360º (NORRIS, 2002). Como, em geral, o acionamento de tais explosivos é difícil, há a necessidade de utilização de uma sequência⁵⁴ de explosivos, pela qual o acionamento tem início com

⁵² A base da munição, geralmente composta pelas aletas e pelo tubo porta-carga, também denominada de ‘empena’.

⁵³ O tubo porta-carga recebe esse nome porque contém a carga de propulsão inicial.

⁵⁴ A sequência de explosivos também é denominada de ‘trem explosivo’.

uma pequena quantidade de explosivo com alta sensibilidade, sendo progressivamente transmitido aos subsequentes explosivos intermediários, como a carga reforçadora, até a carga de arrebentamento no interior da granada (LEE, 1985). Além disso, as munições de morteiro convencionais são disparadas a velocidades subsônicas e, portanto, estão sujeitas a pressões menores do que as produzidas por outros sistemas de armas como os obuseiros. Dessa forma, a granada pode possuir menor espessura e, conseqüentemente, maior quantidade de carga explosiva (RYAN, 1982).

A sequência usual de operação do morteiro compreende a inserção da munição no tubo do armamento com a base voltada para baixo, de forma que a munição possa deslizar sob a ação da gravidade. Ao atingir a parte posterior do tubo, a munição pode ser disparada automaticamente pela ação de pino percussor ou através de gatilho controlado pelo operador, opções que, em geral, dependem do calibre da munição, uma vez que munições mais leves podem não ter o peso necessário para provocar o disparo através da ação da gravidade (NORRIS, 2002). A eficiência de disparo do morteiro se deve à simplicidade de sua arquitetura que possibilita o carregamento da munição pela boca do tubo do armamento. No entanto, tal característica demanda a existência de folga lateral entre a granada e o tubo do armamento, de forma que a queda da munição não seja demasiadamente lenta. Por outro lado, a vedação do tubo pela munição deve ser máxima de forma a não gerar escape lateral de gases de propulsão, o que reduz a velocidade do projétil e, conseqüentemente, o alcance do tiro. Há, portanto, uma contradição física que consiste na necessidade de folga entre a granada e o tubo simultaneamente mínima e máxima, de forma a permitir uma elevada taxa de carregamento de munição associada a uma elevada velocidade de disparo. Essa contradição foi resolvida com a inserção de anel polimérico de obturação ao redor do diâmetro máximo da granada, o qual se expande em decorrência da expansão dos gases, com conseqüente vedação do interior do tubo (LEE, 1985).

6.2. Seleção de Documentos de Registro de Patente

Os termos de pesquisa '*ammunition*' e '*mortar*' foram definidos, respectivamente, a partir das palavras-chave que descrevem o sistema de interesse, isto é, a munição de morteiro. Assim, tais termos foram conjugados em ambas as bases de

dados através do conectivo booleano AND no âmbito dos resumos dos documentos de patente de forma a gerar os resultados desejados. Os termos *'projectile'*, *'shell'* e *'grenade'*, os quais significam, respectivamente, projétil, casca e granada não foram utilizados por limitarem a obtenção de resultados, uma vez que se referem a subsistemas específicos do sistema de interesse. No mesmo sentido, os termos *'weapon'* e *'gun'*, os quais significam armamento, não foram utilizados por se referirem ao supersistema que contém o sistema de interesse.

A seleção dos documentos de patentes resultados da pesquisa foi feita através de dois filtros. O primeiro filtro seleciona apenas os documentos de registro de patente referentes a morteiro, excluindo, portanto, quaisquer eventuais resultados relativos a outros sistemas. O segundo filtro seleciona os documentos referentes ao sistema definido pela munição, incluindo os seus subsistemas⁵⁵, mas não os supersistemas⁵⁶ nos quais aqueles estão inseridos. O sistema referente à munição de morteiro abarca as munições que contenham componentes ativos, isto é, não abarca as munições inertes destinadas ao tiro prático de treinamento. Além disso, tal sistema abarca apenas as munições cujo carregamento é feito pela parte anterior do tubo do armamento, o que exclui as munições configuradas para serem disparadas por hastes⁵⁷ ou cujo carregamento é realizado pela culatra do armamento. Por fim, o sistema considerado abarca apenas as munições sujeitas à aceleração axial e não rotacional, uma vez que a rotação, apesar de aumentar a estabilidade do projétil, depende da adaptação da munição aos tubos de armamento⁵⁸ com raia helicoidais internas que conferem tal rotação. Cabe destacar, ainda, que não foi feita qualquer distinção relativa ao calibre da munição de morteiro no âmbito da seleção de documentos de registro de patente.

A tabela 4 consolida as conjugações entre os termos de pesquisa utilizados no âmbito das bases de dados USPTO e EPO, bem como os resultados fornecidos por cada um dos filtros a partir de pesquisa realizada em 19 de janeiro de 2017.

⁵⁵ Os subsistemas abarcam os elementos responsáveis pela realização de funções específicas, tais como propulsão, estabilização e detonação, dentre outras.

⁵⁶ Os supersistemas compreendem elementos de transporte, armazenamento e disparo, dentre outros.

⁵⁷ Ao contrário das munições de morteiro que são inseridas pela boca do tubo do armamento e cuja propulsão é acionada pela percussão na parte posterior do tubo por meio da ação da gravidade, as munições disparadas por haste são apoiadas sobre hastes que provocam a percussão por ação humana.

⁵⁸ A exclusão dos sistemas sujeitos a aceleração rotacional elimina a restrição do uso da munição em armamentos que possuem tubo com raia internas.

Tabela 4 – Quantidade de documentos de registro de patente selecionados.

Base de Dados	1º Termo	2º Termo	Total	1º Filtro	2º Filtro
USPTO	<i>Mortar</i>	<i>Ammunition</i>	18	18	3
EPO	<i>Mortar</i>	<i>Ammunition</i>	127	101	29

Fonte: Autor.

No âmbito da base dados USPTO foram recuperados 18 documentos de patentes, todos abarcando sistemas referentes a morteiro em um sentido amplo, mas apenas 3 referentes ao sistema ‘munição de morteiro’ tal como considerado no segundo filtro. Assim, dos 15 documentos excluídos pelo segundo filtro, 8 são referentes a munições de treinamento, 3 são referentes ao armamento, 2 são referentes a dispositivos municidores⁵⁹ e 2 são referentes a porta-tiros⁶⁰.

No âmbito da base de dados EPO foram recuperados 127 documentos de patentes, dos quais 101 abarcam sistemas referentes a morteiro em um sentido amplo, sendo os 26 documentos excluídos referentes a outros sistemas, tais como obuseiros, mísseis, foguetes, bomba de aviação, munição não letal, munição antiaérea, veículos, sistemas de fabricação e sistemas de controle de armas. O segundo filtro, por sua vez, seleciona apenas 29 documentos referentes ao sistema ‘munição de morteiro’, tendo sido excluídos 72 documentos de patentes, dos quais 25 são referentes ao armamento, 23 são referentes a munições de treinamento, 3 são referentes a dispositivos municidores, 3 são referentes a sistemas de transporte de munição, 7 são referentes munições cujo carregamento não é realizado pela parte anterior do tubo do armamento, 5 são referentes a dispositivos de fixação da munição no interior do tubo do armamento, 3 são referentes a porta-tiros, 2 são referentes a munições sujeitas a rotação e 1 é referente à protetor de carga de propulsão incremental para munição de morteiro.

A tabela 5 identifica os documentos de patentes selecionados por número e por título. No total, foram selecionados 29 documentos de patentes, uma vez que os três documentos selecionados na base de dados USPTO também foram recuperados através da base de dados EPO.

⁵⁹ Os dispositivos municidores são destinados à automatização do carregamento da arma com munição.

⁶⁰ Os porta-tiros são dispositivos destinados ao transporte e armazenamento de munição.

Tabela 5 – Identificação de documentos de registro de patentes selecionados.

Nº	Título
US 7.055.438	Sistema e método de traçador/marcador sem chamas utilizando marcação química por calor
US 4.611.540	Munição de morteiro
US 3.731.634	Munição de morteiro à prova d'água
RU 2.601.662	Carga ajustável para munição de morteiro 82 mm
RU 2.015.102.886	Carga de propulsão para munição de morteiro
KR 101.584.488	Munição para morteiro com dupla estrutura de juntas
RU 2.564.781	Granada de morteiro
EP 3.036.501	Dispositivo pirotécnico de retardo para espoleta de munição e granada de morteiro com tal dispositivo de retardo
RU 2.010.130.647	Carga de propulsão para munição de morteiro
EP 2.339.291	Projétil contendo corpo, carga explosiva e meios de retenção da carga no corpo
DE 102.008.005.098	Revestimento para projétil de grosso calibre de munição de morteiro com unidade de pré-fragmentação para produção de estilhaços
GB 703.410	Melhorias relativas à projéteis para morteiros de alma lisa
GB 737.349	Melhorias relativas à projéteis para morteiros
GB 737.348	Melhorias relativas à projéteis de morteiros
GB 742.841	Melhorias relativas à projéteis de morteiros providos com aletas para planagem
GB 741.195	Melhorias relativas à projéteis de morteiros
GB 968.130	Melhorias relativas ejeção de suporte de carga de propulsão de projétil carregado pela boca do armamento
GB 864.647	Melhorias relativas à projéteis de morteiros
GB 541.274	Melhorias relativas à munição para artilharia de morteiro ou obuseiro
GB 944.164	Espoleta de percussão com ou sem mecanismo de retardo para projéteis não rotativos
GB 928.456	Morteiro e bomba de morteiro
GB 1.097.931	Melhorias relativas a cartucho propelente para projéteis disparados de morteiro

Nº	Título
EP 0.180.734	Munição de morteiro
EP 1.431.702	Espoleta de munição compreendendo dispositivo de segurança dependente do ambiente externo
DE 3.310.633	Granada de morteiro
RU 2.003.120.359	Espoleta de impacto de escala reduzida
DE 3.620.784	Espoleta de impacto
GB 124.473	Melhorias relativas à munição
GB 770.098	Melhorias relativas à cartucho de projéteis

Fonte: Autor.

6.3. Identificação de Requisitos

A análise dos documentos de patentes selecionados possibilitou a identificação dos requisitos de usuário e dos requisitos técnicos. Enquanto os primeiros foram identificados a partir dos efeitos⁶¹ provocados pelas melhorias apresentadas pelos documentos, os segundos foram identificados a partir dos objetos protegidos pelos documentos. Neste contexto, um mesmo documento pode apresentar diferentes requisitos técnicos, uma vez que pode tutelar distintos objetos, bem como diferentes requisitos de usuário, uma vez que pode oferecer diferentes efeitos. Além disso, um mesmo requisito técnico pode provocar diferentes efeitos relevantes para o usuário. A tabela 6 apresenta os documentos de patentes selecionados com os correspondentes requisitos técnicos e requisitos de usuário.

Tabela 6 – Documentos de registro de patente e requisitos correspondentes.

Nº	Requisito Técnico	Requisito de Usuário
US 7.055.438	O projétil deve conter marcador químico luminescente acionável termicamente	A trajetória do tiro deve ser visualmente identificável
US 4.611.540	O subsistema de propulsão deve ser desconectado do projétil no momento do disparo	O alcance do tiro deve ser máximo

⁶¹ Apesar de explícitos em determinados documentos, tais efeitos foram, em sua maioria, extraídos a partir da interpretação do objeto tutelado pelo documento, isto é, derivado diretamente do próprio requisito técnico.

Nº	Requisito Técnico	Requisito de Usuário
US 3.731.634	Os invólucros das cargas de propulsão adicional devem ser dispostos longitudinalmente ao longo do eixo do tubo porta-carga	O alcance do tiro deve ser variável
US 3.731.634	Os invólucros das cargas de propulsão adicional devem ser cobertas por filme impermeável de nitrocelulose	As cargas de propulsão adicional não devem sofrer avaria durante armazenagem e transporte da munição
RU 2.601.662	As cargas de propulsão devem conter pó de piroxilina modificada com baixa dependência da taxa de combustão com relação à pressão	O alcance do tiro deve ser máximo
RU 2.015.102.886	A carga de propulsão inicial deve estar contida em cartucho cilíndrico com razão entre comprimento e diâmetro de 5,5/6,5	O alcance do tiro deve ser máximo
RU 2.015.102.886	O cartucho de propulsão inicial deve estar inserido em tubo metálico com razão entre perfuração e superfície de 0,030/0,035	O alcance do tiro deve ser máximo
RU 2.015.102.886	O cartucho de propulsão inicial deve conter ignitor com pólvora negra na razão de 5,0/5,5% em peso com relação à carga de propulsão inicial	O alcance do tiro deve ser máximo
KR 101.584.488	O projétil deve conter carga de propulsão adicional no interior da granada com acionamento retardado por ignitor dedicado	O alcance do tiro deve ser máximo
RU 2.564.781	O projétil deve conter aletas aerodinâmicas articuláveis que se abrem após o disparo fixadas à granada através de haste	A precisão do tiro deve ser máxima
RU 2.564.781	O projétil deve conter aletas aerodinâmicas articuláveis que se abrem após o disparo fixadas à granada através de haste	O alcance do tiro deve ser máximo
EP 3.036.501	A granada deve conter espoleta em sua porção inferior com dispositivo pirotécnico de retardo de acionamento composto por carga de transmissão com reduzida taxa de queima	A detonação do projétil não deve falhar
RU 2.010.130.647	A carga de propulsão inicial deve estar contida em cartucho cilíndrico com razão entre comprimento e diâmetro de 5,5/6,5	O alcance do tiro deve ser máximo

Nº	Requisito Técnico	Requisito de Usuário
EP 2.339.291	A granada deve conter saliências em sua superfície interior que evitem a movimentação da carga de arrebetamento	A detonação do projétil não deve ocorrer prematuramente após o disparo
DE 102.008.005.098	A granada deve possuir revestimento previamente fragmentado com menor resistência à tração	A letalidade do projétil deve ser máxima
GB 703.410	A empena deve ser feita de liga metálica leve	O alcance do tiro deve ser máximo
GB 737.348	A empena deve ser acoplada a dispositivo de propulsão ejetável contendo sulcos em sua superfície externa capazes de impedir o escape dos gases de propulsão durante o disparo	O alcance do tiro deve ser máximo
GB 737.349	A empena deve ser constituída de aletas estabilizadoras retráteis presas por dispositivo ejetável contendo sulcos em sua superfície externa capazes de impedir o escape dos gases de propulsão durante o disparo	O alcance do tiro deve ser máximo
GB 737.349	A empena deve ser constituída de aletas estabilizadoras retráteis presas por dispositivo ejetável contendo sulcos em sua superfície externa capazes de impedir o escape dos gases de propulsão durante o disparo	A precisão do tiro deve ser máxima
GB 742.841	O projétil deve possuir um par diametralmente oposto de aletas laterais localizado na parte posterior do corpo da granada além das aletas de estabilização contidas na empena	O alcance do tiro deve ser máximo
GB 742.841	O projétil deve possuir um par diametralmente oposto de aletas laterais localizado na parte posterior do corpo da granada além das aletas de estabilização contidas na empena	A precisão do tiro deve ser máxima
GB 741.195	O projétil deve ter o ângulo de ponta formado pela espoleta e a parte anterior do corpo da granada até o seu diâmetro de turgência entre 4° e 20°	O alcance do tiro deve ser máximo
GB 741.195	O projétil deve ter o ângulo de ponta formado pela espoleta e a parte anterior do corpo da granada até o seu diâmetro de turgência entre 4° e 20°	A precisão do tiro deve ser máxima

Nº	Requisito Técnico	Requisito de Usuário
GB 968.130	O projétil deve conter carga autopropulsora com acionamento retardado por ignitor dedicado acoplado a dispositivo de propulsão ejetável	O alcance do tiro deve ser máximo
GB 864.647	A empena deve possuir aletas de estabilização com entalhes em sua parte anterior de forma a apresentarem aresta radial oblíqua e aresta axial paralela em relação ao eixo longitudinal da munição para deflexão do ar contra as faces laterais das aletas	A precisão do tiro deve ser máxima
GB 864.647	A empena deve possuir aletas de estabilização com entalhes em sua parte anterior de forma a apresentarem aresta radial oblíqua e aresta axial paralela em relação ao eixo longitudinal da munição para deflexão do ar contra as faces laterais das aletas	O alcance do tiro deve ser máximo
GB 541.274	A granada deve possuir saia anular metálica em sua parte posterior que permita a descida livre da munição pelo tubo do armamento e cujas extremidade possa ser expandida pelos gases de propulsão de forma a retê-los no interior do tubo durante o disparo	O alcance do tiro deve ser máximo
GB 944.164	A espoleta deve conter mecanismo de retardo ajustado por chave externa	A detonação do projétil deve poder ser atrasada a partir do momento do impacto
GB 928.456	A empena deve possuir aletas de estabilização com chapas retangulares acopladas transversalmente às suas respectivas arestas posteriores	O alcance do tiro deve ser máximo
GB 928.456	A empena deve possuir aletas de estabilização com chapas retangulares acopladas transversalmente às suas respectivas arestas posteriores	A precisão do tiro deve ser máxima
GB 1.097.931	O cartucho de propulsão inicial deve ser constituído de tubo contendo a carga propelente com a extremidade superior fechada e a extremidade inferior conectada à base contendo o ignitor sendo ambas as partes de polímero sintético	O alcance do tiro deve ser máximo

Nº	Requisito Técnico	Requisito de Usuário
GB 1.097.931	O cartucho de propulsão inicial deve ser constituído de tubo contendo a carga propelente com a extremidade superior fechada e a extremidade inferior conectada à base contendo o ignitor através de sulcos e saliências	A carga de propulsão inicial deve permanecer fixa durante armazenagem e transporte da munição
GB 1.097.931	O cartucho de propulsão inicial deve ser fixado no interior do tubo axial da empena através de flange polimérica deformável	A carga de propulsão inicial deve permanecer fixa durante armazenagem e transporte da munição
EP 0.180.734	A granada deve possuir projéteis de esferas de aço armazenadas no interior da parede	A letalidade do projétil deve ser máxima
EP 1.431.702	A espoleta deve ter mecanismo de segurança que permita o alinhamento do trem explosivo após o disparo através de aleta retrátil que se abre com a resistência do ar	A detonação do projétil não deve ocorrer antes do disparo
DE 3.310.633	A carga de arrebentamento deve ser nitropenta	O tiro deve poder ser empregado contra blindagem balística
DE 3.310.633	A carga de arrebentamento deve ser nitropenta	A letalidade do projétil deve ser máxima
RU 2.003.120.359	A espoleta deve conter trem explosivo constituído por sequência de explosivos com sensibilidade decrescente até a carga de arrebentamento com variação de densidade de 1,2 a 1,7 g/cm ³	A detonação do projétil não deve falhar
DE 3.620.784	A espoleta deve possuir seções laterais deformáveis a partir de furos axiais capazes transmitir impacto oblíquo	A detonação do projétil não deve falhar
GB 124.473	O cartucho de propulsão deve conter carga inicial central sobre o eixo longitudinal da munição e cargas adicionais concêntricas paralelas ao mesmo eixo e acionadas pela carga inicial através de passagens seletivas	O alcance do tiro deve ser variável
GB 770.098	O cartucho de propulsão inicial deve possuir dois ignitores localizados em extremidades opostas conectadas por passagem axial de forma a acionar a carga de projeção localizada na lateral do cartucho em sentido descendente	O alcance do tiro deve ser máximo

Fonte: Autor.

Os 33 requisitos técnicos identificados a partir dos documentos de patentes selecionados são apresentados na tabela 7, na qual se encontram indexados para efeito de referência.

Tabela 7 – Requisitos técnicos.

Índice	Requisito Técnico
RT01	O projétil deve conter marcador químico luminescente acionável termicamente
RT02	O subsistema de propulsão deve ser desconectado do projétil no momento do disparo
RT03	Os invólucros das cargas de propulsão adicional devem ser dispostos longitudinalmente ao longo do eixo do tubo porta-carga
RT04	Os invólucros das cargas de propulsão adicional devem ser cobertas por filme impermeável de nitrocelulose
RT05	As cargas de propulsão devem conter pó de piroxilina modificada com baixa dependência da taxa de combustão com relação à pressão
RT06	A carga de propulsão inicial deve estar contida em cartucho cilíndrico com razão entre comprimento e diâmetro de 5,5/6,5
RT07	O cartucho de propulsão inicial deve estar inserido em tubo metálico com razão entre perfuração e superfície de 0,030/0,035
RT08	O cartucho de propulsão inicial deve conter ignitor com pólvora negra na razão de 5,0/5,5% em peso com relação à carga de propulsão inicial
RT09	O projétil deve conter carga de propulsão adicional no interior da granada com acionamento retardado por ignitor dedicado
RT10	O projétil deve conter aletas aerodinâmicas articuláveis que se abrem após o disparo fixadas à granada através de haste
RT11	A granada deve conter espoleta em sua porção inferior com dispositivo pirotécnico de retardo de acionamento composto por carga de transmissão com reduzida taxa de queima
RT12	A granada deve conter saliências em sua superfície interior que evitem a movimentação da carga de arrebentamento
RT13	A granada deve possuir revestimento previamente fragmentado com menor resistência à tração
RT14	A empena deve ser feita de liga metálica leve
RT15	A empena deve ser acoplada a dispositivo de propulsão ejetável contendo sulcos em sua superfície externa capazes de impedir o escape dos gases de propulsão durante o disparo

Índice	Requisito Técnico
RT16	A empena deve ser constituída de aletas estabilizadoras retráteis presas por dispositivo ejetável contendo sulcos em sua superfície externa capazes de impedir o escape dos gases de propulsão durante o disparo
RT17	O projétil deve possuir um par diametralmente oposto de aletas laterais localizado na parte posterior do corpo da granada além das aletas de estabilização contidas na empena
RT18	O projétil deve ter o ângulo de ponta formado pela espoleta e a parte anterior do corpo da granada até o seu diâmetro de turgência entre 4° e 20°
RT19	O projétil deve conter carga autopropulsora com acionamento retardado por ignitor dedicado acoplado a dispositivo de propulsão ejetável
RT20	A empena deve possuir aletas de estabilização com entalhes em sua parte anterior de forma a apresentarem aresta radial oblíqua e aresta axial paralela em relação ao eixo longitudinal da munição para deflexão do ar contra as faces laterais das aletas
RT21	A granada deve possuir saia anular metálica em sua parte posterior que permita a descida livre da munição pelo tubo do armamento e cujas extremidade possa ser expandida pelos gases de propulsão de forma a retê-los no interior do tubo durante o disparo
RT22	A espoleta deve conter mecanismo de retardo ajustado por chave externa
RT23	A empena deve possuir aletas de estabilização com chapas retangulares acopladas transversalmente às suas respectivas arestas posteriores
RT24	O cartucho de propulsão inicial deve ser constituído de tubo contendo a carga propelente com a extremidade superior fechada e a extremidade inferior conectada à base contendo o ignitor sendo ambas as partes de polímero sintético
RT25	O cartucho de propulsão inicial deve ser constituído de tubo contendo a carga propelente com a extremidade superior fechada e a extremidade inferior conectada à base contendo o ignitor através de sulcos e saliências
RT26	O cartucho de propulsão inicial deve ser fixado no interior do tubo axial da empena através de flange polimérica deformável
RT27	A granada deve possuir projéteis de esferas de aço armazenadas no interior da parede
RT28	A espoleta deve ter mecanismo de segurança que permita o alinhamento do trem explosivo após o disparo através de aleta retrátil que se abre com a resistência do ar
RT29	A carga de arrebentamento deve ser nitropenta
RT30	A espoleta deve conter trem explosivo constituído por sequência de explosivos com sensibilidade decrescente até a carga de arrebentamento com variação de densidade de 1,2 a 1,7 g/cm ³

Índice	Requisito Técnico
RT31	A espoleta deve possuir seções laterais deformáveis a partir de furos axiais capazes de transmitir impacto oblíquo
RT32	O cartucho de propulsão deve conter carga inicial central sobre o eixo longitudinal da munição e cargas adicionais concêntricas paralelas ao mesmo eixo e acionadas pela carga inicial através de passagens seletivas
RT33	O cartucho de propulsão inicial deve possuir dois ignitores localizados em extremidades opostas conectadas por passagem axial de forma a acionar a carga de projeção localizada na lateral do cartucho em sentido descendente

Fonte: Autor.

Os 12 requisitos de usuário identificados a partir dos documentos de patentes selecionados são apresentados na tabela 8, na qual se encontram indexados para efeito de referência.

Tabela 8 – Requisitos de usuário.

Índice	Requisito de Usuário
RU01	A carga de propulsão inicial deve permanecer fixa durante armazenagem e transporte da munição
RU02	As cargas de propulsão adicional não devem sofrer avaria durante armazenagem e transporte da munição
RU03	A detonação do projétil não deve ocorrer antes do disparo
RU04	A detonação do projétil não deve ocorrer prematuramente após o disparo
RU05	A detonação do projétil deve poder ser atrasada a partir do momento do impacto
RU06	A detonação do projétil não deve falhar
RU07	A trajetória do tiro deve ser visualmente identificável
RU08	O alcance do tiro deve ser máximo
RU09	O alcance do tiro deve ser variável
RU10	A precisão do tiro deve ser máxima
RU11	A letalidade do projétil deve ser máxima
RU12	O tiro deve poder ser empregado contra blindagem balística

Fonte: Autor.

6.4. Valoração de Requisitos

A valoração é essencial para a seleção de requisitos no âmbito do PDP através da identificação da relevância comercial e técnica, respectivamente de cada requisito de usuário e de cada requisito técnico. Para tanto, deve-se considerar não apenas a importância atribuída pelo mercado⁶² para cada requisito de usuário, mas também a importância de cada requisito técnico para a satisfação dos requisitos de usuário que lhes são relacionados, ou seja, a **correlação** entre cada requisito de usuário e os requisitos técnicos que os determinam. Neste contexto, a relevância técnica é calculada pelo somatório dos produtos entre o valor de cada correlação de um determinado requisito técnico e a importância atribuída pelo mercado para cada requisito de usuário com o qual está correlacionado. Por sua vez, a relevância comercial é determinada pelo somatório dos produtos entre o valor de cada correlação de um determinado requisito de usuário e a sua importância atribuída pelo mercado.

A valoração dos requisitos de produto requer, portanto, a obtenção da ‘voz do cliente’, isto é, a identificação da importância do mercado para cada requisito de usuário, bem como a correlação entre cada requisito de usuário e os requisitos técnicos que os determinam.

A obtenção da importância atribuída pelo mercado para cada requisito de usuário, isto é, a ‘voz do cliente’, foi realizada segundo a escala estabelecida no Modelo de Otimização Sistemática de Requisitos. Os usuários selecionados compõem um grupo de dezoito oficiais, sendo um major e dezessete tenentes oriundos da Academia Militar das Agulhas Negras (AMAN), os quais estão representados na tabela 8 através de índices para efeito de referência. A tabela 9 também apresenta os valores de relevância atribuídos por cada usuário a cada um dos requisitos de usuário através de questionários individuais, além dos valores médios de relevância de cada requisito. O modelo de questionário utilizado é apresentado no Apêndice A.

⁶² O termo ‘mercado’ aqui utilizado corresponde à amostragem de usuários que compõem o público-alvo da pesquisa.

Tabela 9 – Valoração de requisitos de usuário.

REQUISITOS / USUÁRIOS	U01	U02	U03	U04	U05	U06	U07	U08	U09	U10	U11	U12	U13	U14	U15	U16	U17	U18	MÉDIA
RU01	4	2	5	4	5	4	4	2	2	4	3	5	4	2	2	4	5	4	3,6
RU02	4	3	4	3	4	4	4	5	2	5	4	5	4	4	3	4	5	4	3,9
RU03	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5,0
RU04	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5,0
RU05	2	3	3	2	3	4	3	3	1	5	3	1	5	3	1	2	1	3	2,7
RU06	2	5	5	4	5	5	3	3	3	5	4	5	4	5	5	5	5	5	4,3
RU07	2	3	2	2	3	5	2	3	2	2	3	1	4	5	1	3	1	3	2,6
RU08	4	4	3	4	4	5	3	4	2	5	3	4	1	5	5	5	1	5	3,7
RU09	5	4	5	5	5	4	4	4	3	5	4	4	4	3	5	3	5	4	4,2
RU10	5	3	5	5	4	5	4	4	3	5	5	5	4	4	4	5	3	5	4,3
RU11	3	3	5	4	4	4	3	5	3	5	4	4	3	4	4	5	1	5	3,8
RU12	4	4	4	3	4	5	2	4	1	4	3	4	2	3	5	4	5	4	3,6

Fonte: Autor.

A definição dos valores de correlação foi realizada através da avaliação da influência de cada requisito técnico no efeito físico atrelado à satisfação de cada um dos seus correspondentes requisitos de usuário, segundo escala definida no Modelo de Otimização Sistemática de Requisitos. A tabela 10 apresenta os valores de correlação entre os requisitos técnicos e os respectivos requisitos técnicos correspondentes.

Tabela 10 – Correlação entre requisitos.

Requisito Técnico	Requisito de Usuário	Valor de Correlação
RT01	RU07	9
RT02	RU08	3
RT03	RU09	9
RT04	RU02	3
RT05	RU08	1
RT06	RU08	1
RT07	RU08	1
RT08	RU08	1
RT09	RU08	9

Requisito Técnico	Requisito de Usuário	Valor de Correlação
RT10	RU08	3
RT10	RU10	3
RT11	RU06	9
RT12	RU04	3
RT13	RU11	1
RT14	RU08	9
RT15	RU08	9
RT16	RU08	3
RT16	RU10	1
RT17	RU08	3
RT17	RU10	3
RT18	RU08	1
RT18	RU10	3
RT19	RU08	9
RT20	RU08	1
RT20	RU10	1
RT21	RU08	3
RT22	RU05	9
RT23	RU08	1
RT23	RU10	1
RT24	RU08	3
RT25	RU01	3
RT26	RU01	3
RT27	RU11	1
RT28	RU03	9
RT29	RU11	9
RT29	RU12	1

Requisito Técnico	Requisito de Usuário	Valor de Correlação
RT30	RU06	9
RT31	RU06	1
RT32	RU09	1
RT33	RU08	1

Fonte: Autor.

O requisito técnico RT01 determina que o projétil deve conter marcador químico luminescente termicamente ativável de forma a atender o requisito de usuário RU07, o qual identifica a necessidade de a trajetória do tiro ser visualmente identificável (THE UNITED STATES OF AMERICA AS REPRESENTED BY THE SECRETARY OF THE ARMY, 2006). A correlação entre os requisitos RT01 e RU07 foi definida com o valor 9, uma vez que o rastro luminescente pode durar várias horas após o disparo, possibilitando a identificação da trajetória do tiro.

O requisito técnico RT02 apresenta uma solução técnica pela qual o subsistema de propulsão deve ser desconectado do projétil no momento do disparo, de forma a diminuir a massa do sistema a ser projetada com a mesma quantidade de energia. Para tanto, o projétil e o subsistema de propulsão, conectados através de cinta e flange anular devem ser inseridos conjuntamente no interior do tubo do morteiro, conforme disposto na figura 13. Após a inserção de ambos os subsistemas, o disparo aciona a propulsão do tubo porta-carga através de percussão controlada por cordel, a qual é transmitida ao projétil simultaneamente à separação entre a cinta e a flange anular. O subsistema de propulsão, portanto, é composto pelo tubo-porta carga contendo guias para a sua centralização por ocasião da inserção no tubo do armamento, além de cinta em sua parte anterior, enquanto o projétil contém flange anular em sua parte posterior para a conexão do subsistema com o tubo porta-carga (AFFARSVERKET FFV, 1986).

O requisito técnico RT02 satisfaz o requisito de usuário RU08, o qual identifica a necessidade de maximização do alcance do tiro. A correlação entre os requisitos RT02 e RU08 foi definida com o valor 3, uma vez que a solução implica em substancial redução de massa do sistema e, portanto, em aproveitamento da energia de propulsão. Entretanto, essa solução pode reduzir a estabilidade aerodinâmica do projétil em função

da redução dimensional das aletas de estabilização aerodinâmica, o que causa maior atrito com o ar atmosférico e, por conseguinte, perda de energia de propulsão.

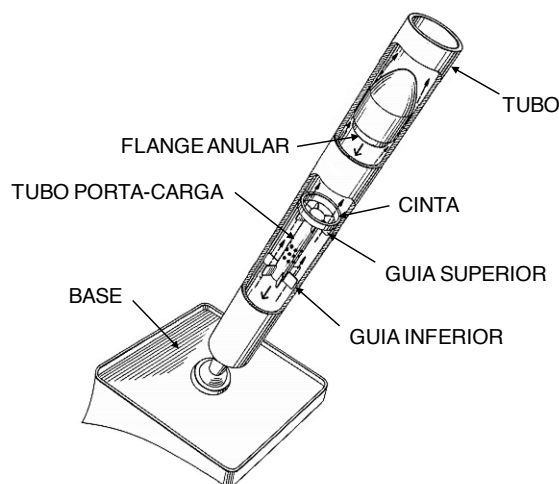


Figura 13 – Esquema de solução conforme o requisito técnico RT02.
Fonte: Adaptado de Affarsverket FFV (1986).

O requisito técnico RT03 estabelece que os invólucros das cargas de propulsão adicional devem ser dispostos longitudinalmente ao longo do eixo do tubo porta-carga de forma a poderem ser inseridas ou retiradas manualmente de acordo com o alcance desejado do projétil, conforme disposto na figura 14, que apresenta a distribuição das cargas de propulsão adicional no tubo porta-carga da empena (THE UNITED STATES OF AMERICA AS REPRESENTED BY THE SECRETARY OF THE ARMY, 1973).

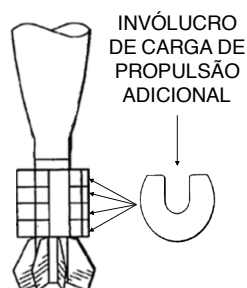


Figura 14 – Esquema de solução conforme o requisito técnico RT03 com carga de propulsão adicional.
Fonte: Adaptado de The United States of America as Represented by the Secretary of the Army (1973).

Para tanto, a deflagração da carga de propulsão inicial contida no tubo porta-carga aciona a carga contida nos invólucros de propulsão adicional através de orifícios existentes no tubo que permitem a saída dos gases de propulsão, conforme disposto na figura 15 (THE UNITED STATES OF AMERICA AS REPRESENTED BY THE SECRETARY OF THE ARMY, 1973).

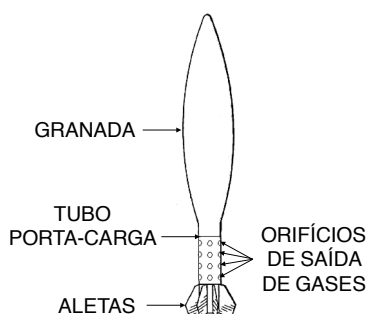


Figura 15 – Esquema de solução conforme o requisito técnico RT03 sem carga de propulsão adicional.
Fonte: Adaptado de The United States of America as Represented by the Secretary of the Army (1973).

O requisito técnico RT03 satisfaz o requisito de usuário RU09, pelo qual o alcance do tiro deve ser variável, através de uma correlação de valor 9, uma vez que a solução permite a variação do alcance do projétil de forma satisfatória.

O requisito técnico RT04 estabelece que as cargas de propulsão adicional devem ser recobertas com um filme impermeável de nitrocelulose (THE UNITED STATES OF AMERICA AS REPRESENTED BY THE SECRETARY OF THE ARMY, 1973). O requisito técnico RT04 satisfaz o requisito de usuário RU02, pelo qual as cargas de propulsão adicional não devem sofrer avarias durante o transporte e o armazenamento da munição. Entretanto, apesar de a solução garantir a preservação das cargas de propulsão adicional contra a umidade, não as preserva contra eventuais impactos, razão pela qual à correlação entre os requisitos RT04 e RU02 foi atribuído o valor 3.

Os requisitos técnicos RT05, RT06, RT07 e RT08 apresentam modificações no subsistema de propulsão que satisfazem o requisito de usuário RU08, pelo qual o alcance do tiro deve ser máximo. Nesse sentido, o requisito técnico RT05 apresenta modificação química da carga propelente, que deve conter pó de piroxilina modificada com baixa dependência da taxa de combustão com relação à pressão, tanto para as

cargas de propulsão adicional quanto para a carga de propulsão inicial. Os requisitos técnicos RT06, RT07 e RT08, entretanto, apresentam configurações específicas para o cartucho de propulsão inicial (FKP GOSNIKH, 2016). As correlações de cada um dos requisitos técnicos RT05, RT06, RT07 e RT08 com o requisito de usuário RU08 foram definidas com o valor 1, uma vez que, apesar de induzirem um melhor alcance, não representam um aumento significativo da quantidade de carga de propulsão, bem como não apresentam nenhuma alteração nas características aerodinâmicas do sistema.

O requisito técnico RT09 apresenta uma solução técnica pela qual o projétil deve conter carga de propulsão adicional no interior da granada com acionamento retardado por ignitor dedicado, ou seja, o próprio projétil deve conter um subsistema interno de propulsão independente do subsistema externo de propulsão, sendo que o primeiro é acionado por ignitor dedicado através de mecanismo de retardo, de forma que a propulsão adicional é acionada após o disparo do projétil e, portanto, no decurso de sua trajetória, conforme apresentado na figura 16 (POONGSAN CORP, 2016). O requisito técnico RT09 satisfaz o requisito de usuário RU08, pelo qual o alcance do projétil deve ser máximo, e a correlação entre ambos os requisitos foi definida com o valor 9, uma vez que a carga adicional de propulsão no interior da granada aumenta significativamente a capacidade do subsistema de propulsão.

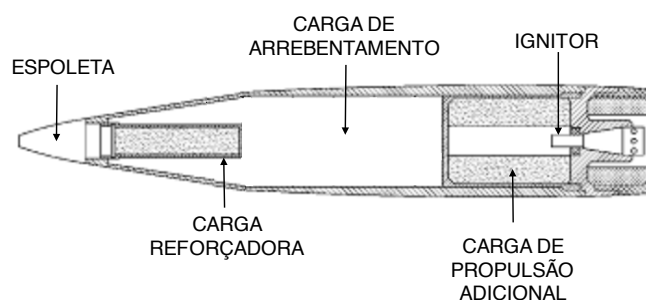


Figura 16 – Esquema de solução conforme o requisito técnico RT09.
Fonte: Adaptado de Poongsan Corp (2016).

O requisito técnico RT10 apresenta uma solução técnica pela qual o projétil deve conter aletas aerodinâmicas articuláveis que se abrem após o disparo, as quais devem estar fixadas à granada através de haste, conforme a figura 17 (AKTSIONERNOE OBSHCHESTVO TSENTRAL NYJ NII TOCHNOGO MASH, 2015). A solução técnica

apresentada pelo requisito garante maior estabilidade aerodinâmica e, portanto, menor perda de energia cinética em função do atrito com o ar atmosférico, o que satisfaz os requisitos de usuário RU08 e RU10, que identificam, respectivamente, as necessidades do alcance e da precisão do tiro serem máximas. As correlações entre o requisito técnico e os requisitos de usuário RU08 e RU10 foram definidas com o valor 3, uma vez que, apesar de conferir maior estabilidade aerodinâmica, tal vantagem já é conferida pelas próprias aletas contidas nas bases das empenas, sendo que a melhoria da presente solução consiste no fato de que, por serem articuláveis, as aletas abertas perfazem um diâmetro externo ligeiramente maior do que o diâmetro máximo da granada, aumentando, portanto, a estabilidade aerodinâmica.

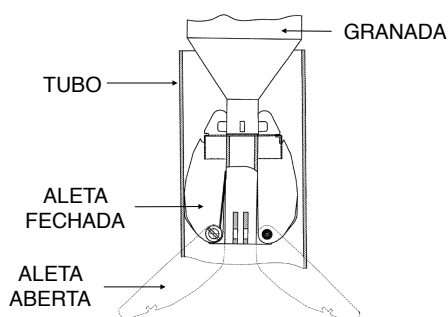


Figura 17 – Esquema de solução conforme o requisito técnico RT10.

Fonte: Adaptado de Aktsionernoe Obshchestvo Tsentral Nyj Nii Tochnogo Mash (2015).

O requisito técnico RT11 permite que a detonação da granada seja atrasada a partir do momento do disparo através de um mecanismo de retardo contido em uma espoleta de base⁶³ composto por componente ativo que propaga a deflagração iniciada pelo próprio subsistema de propulsão através de rastilho com taxa de queima adequada para propiciar a detonação da carga de arrebentamento, conforme apresentado na figura 18 (RHEINMETALL WAFFE MUNITION, 2016).

⁶³ A espoleta de base é localizada na parte posterior da granada e não na sua parte anterior, isto é, na sua ponta.

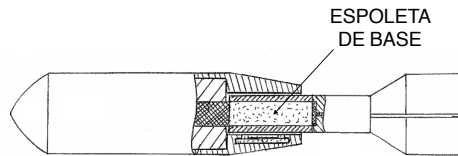


Figura 18 – Esquema de solução conforme o requisito técnico RT11.
 Fonte: Adaptado de Rheinmetall Waffe Munition (2016).

O requisito técnico RT11 satisfaz o requisito de usuário RU06, pelo qual a detonação do projétil não deve falhar. Tal necessidade está relacionada com a eficácia do tiro, uma vez que o acionamento do trem explosivo a partir do momento do disparo garante que a carga de arrebentamento será detonada, ou seja, os riscos de uma eventual falha decorrente do mal funcionamento da espoleta são eliminados. A correlação entre os requisitos RT11 e RU06 foi definida com o valor 9, uma vez que o subsistema de acionamento apresentado pelo requisito atende de forma plena à demanda pelo acionamento do trem explosivo a partir do subsistema de propulsão, o que garante a detonação da granada.

O requisito técnico RT12 estabelece a existência de saliências na superfície interna do corpo da granada que impedem que uma eventual movimentação inercial da carga de arrebentamento provoque a detonação prematura da referida carga, conforme a figura 19. Tal movimentação inercial pode ocorrer em função da elevada aceleração a que o sistema é submetido no momento do disparo devido à eventuais vazios internos decorrentes do processo de fabricação (TDA ARMEMENTS SAS, 2011).

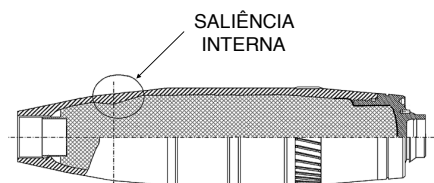


Figura 19 – Esquema de solução conforme o requisito técnico RT12.
 Fonte: Adaptado de TDA Armements Sas (2011).

O requisito técnico RT12 satisfaz o requisito de usuário RU04 que identifica a necessidade de a detonação do projétil não ocorrer prematuramente após o disparo, o que consiste em um requisito de eficácia e de segurança, uma vez que a detonação

prematura do projétil após o disparo não apenas impede que ele alcance o alvo, como também representa uma ameaça aos operadores do equipamento caso a detonação ocorra ainda no interior do tubo do morteiro. A correlação entre ambos os requisitos RT12 e RU04 foi definida com o valor 3, uma vez que as soluções apresentadas, apesar de aumentarem a segurança do tiro, não eliminam por completo a possibilidade de um acidente por ocasião do disparo.

O requisito técnico RT13 estabelece que o projétil deve ser revestido com revestimento previamente fragmentado com menor resistência à tração o que aumenta a geração de fragmentos por ocasião da detonação da granada e, por conseguinte, a letalidade do tiro (DIEHL GMBH & CO, 2009). Dessa forma, o requisito técnico RT13 satisfaz o requisito de usuário RU11 que identifica a necessidade de a letalidade do projétil ser máxima. A correlação entre ambos os requisitos foi definida com o valor 1, uma vez que a letalidade do projétil, no que tange à sua capacidade de fragmentação, pode ser maximizada através de tratamento térmico que possa conferir uma resistência à tração adequada de forma a não permitir a geração de uma quantidade pequena de fragmentos grandes nem de uma quantidade grande de fragmentos pequenos. Assim, a melhoria trazida pela solução técnica do requisito RT13 pode ser considerada pouco relevante.

O requisito técnico RT14 apresenta uma solução técnica pela qual a empena⁶⁴ do projétil deve ser feita de liga metálica leve⁶⁵, o que proporciona a redução do peso do sistema e, portanto, aumenta a eficiência do uso da energia de propulsão (AKTIESELSKABET, 1954). O requisito técnico RT14 satisfaz o requisito de usuário RU08 através de correlação definida com o valor 9, por ser esta uma solução que causa significativo impacto no alcance do projétil.

O requisito técnico RT15 apresenta uma solução técnica que estabelece o acoplamento da empena a um dispositivo ejetável após a saída do projétil do tubo do armamento. Tal dispositivo contém o subsistema de propulsão em sua parte posterior e sulcos na superfície externa em sua parte anterior, os quais são capazes de impedir o escape dos gases de propulsão durante o disparo. Dessa forma, a solução pretende

⁶⁴ A empena compreende o conjunto formado pelo tubo porta-carga e pelas aletas de estabilização, portanto todos estes componentes devem ser feitos do mesmo material.

⁶⁵ Há diversas opções de ligas metálicas leves, mas o alumínio surge como uma opção tecnicamente e economicamente mais viável, uma vez que apresenta fácil conformabilidade e usinabilidade, além de ampla disponibilidade comercial.

aumentar a eficiência do subsistema de propulsão ao evitar a saída de gases por ocasião do disparo pela superfície interna do tubo, uma vez que os sulcos presentes no dispositivo criam uma zona de turbulência que impede o escape dos gases e aumenta o seu efeito na propulsão do projétil. Além disso, o dispositivo é fixado ao projétil através de peça cônica da qual é separada após a deflagração da carga de propulsão através da expansão dos gases para a câmara de ejeção entre o dispositivo e o cone de fixação, conforme apresentado na figura 20 (HANS, 1955). O requisito técnico RT15 satisfaz o requisito de usuário RU08, pelo qual o alcance do projétil deve ser máximo, com uma correlação de valor 9, uma vez que a solução técnica representa um maior aproveitamento dos gases de propulsão e uma redução da massa total do sistema e, portanto, acarreta aumento de alcance do projétil.

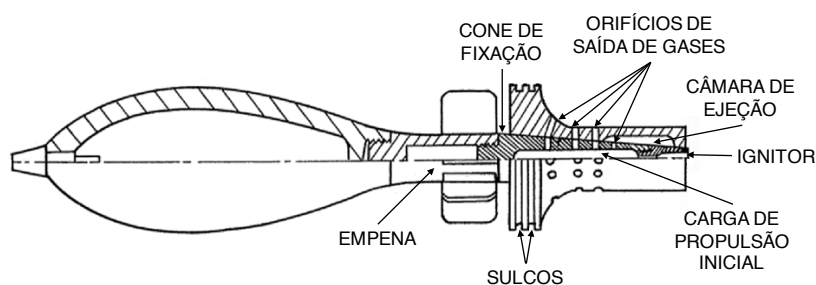


Figura 20 – Esquema de solução conforme o requisito técnico RT15.
Fonte: Adaptado de Hans (1955).

O requisito técnico RT16 apresenta uma solução técnica similar à solução apresentada pelo requisito técnico RT10, ou seja, prevê aletas retráteis que se abrem após o disparo perfazendo um círculo com diâmetro maior do que o calibre da munição e, por conseguinte, aumentando a estabilização aerodinâmica do projétil, o que reduz o atrito com o ar atmosférico e aumenta o seu alcance. Ao contrário da solução apresentada pelo requisito técnico RT10, no entanto, o requisito técnico RT17 prevê uma disposição diferente das aletas retráteis, as quais se abrem através de um movimento transversal em relação ao eixo do projétil, e não longitudinal, conforme o requisito técnico RT10, o que pode ser verificado na figura 21. Além disso, o requisito técnico RT16 prevê ainda a necessidade de suporte de forma a manter as aletas dobradas por ocasião da inserção da munição no tubo do armamento, sendo que tal suporte age também como um retentor de gases de forma similar à solução apresentada

pelo requisito técnico RT15, isto é, através de sulcos presentes em sua base (HANS, 1955).

O requisito técnico RT16 satisfaz os requisitos de usuário RU08 e RU10 que identificam, respectivamente, as necessidades do alcance e da precisão do tiro serem máximos. A correlação entre os requisitos RT16 e RU10 foi definida com o valor 1, uma vez que a configuração prevista no requisito técnico RT16 limita o comprimento das aletas em função do diâmetro do tubo. Por sua vez, a correlação entre os requisitos RT16 e RU08 foi definida com o valor 3, uma vez que, apesar do pequeno aumento de estabilidade aerodinâmica conferido pelas aletas, a retenção dos gases aumenta a eficiência energética da propulsão.

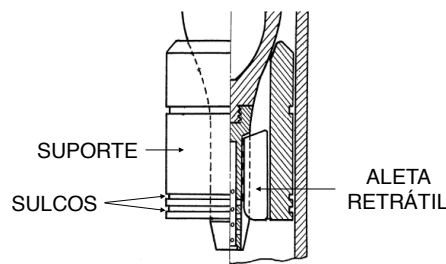


Figura 21 – Esquema de solução conforme o requisito técnico RT16.
Fonte: Adaptado de Hans (1955).

O requisito técnico RT17 estabelece que o projétil deve possuir um par diametralmente oposto de aletas laterais localizado na parte posterior do corpo da granada, conforme a figura 22. Essas aletas contribuem para a estabilização aerodinâmica do projétil em conjunto com as aletas de estabilização presentes na empena (HANS, 1956). O requisito técnico RT17 satisfaz os requisitos de usuário RU08 e RU10, uma vez que a presença das aletas laterais aumenta a estabilidade aerodinâmica e, por conseguinte, o alcance e a precisão do projétil, uma vez que reduz a perda de energia pelo atrito com o ar atmosférico, bem como os desvios provocados por tal atrito na trajetória do tiro. As correlações entre o requisito técnico RT17 e os requisitos de usuário RU08 e RU10 foram definidas com o valor 3, uma vez que aumento da estabilidade aerodinâmica é limitado pelo comprimento das aletas e, portanto, pelo diâmetro do tubo. Além disso, essa vantagem já é conferida pelas próprias aletas

contidas nas bases das empenas, sendo que a melhoria da presente solução consiste em um ligeiro aumento da estabilidade aerodinâmica do projétil.

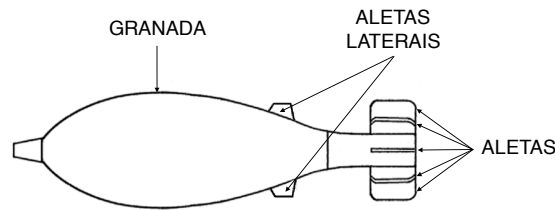


Figura 22 – Esquema de solução conforme o requisito técnico RT17.
Fonte: Adaptado de Hans (1956).

O requisito técnico RT18 estabelece que o projétil deve ter um ângulo de ogiva formado pela espoleta e a parte anterior do corpo da granada, até a sua seção de turgência⁶⁶, com valor entre 4º e 20º, conforme a figura 23. A solução técnica apresentada visa aumentar a estabilidade aerodinâmica do projétil e, com isso, reduzir a perda de energia cinética do projétil em função do atrito com o ar atmosférico (HANS, 1955). O requisito técnico RT18 satisfaz os requisitos de usuário RU08 e RU10, uma vez que a redução do ângulo de ogiva aumenta a estabilidade aerodinâmica e, por conseguinte, o alcance e a precisão do projétil, uma vez que reduz a perda de energia pelo atrito com o ar atmosférico, bem como os desvios provocados por tal atrito na trajetória do tiro. As correlações entre o requisito técnico RT18 e os requisitos de usuário RU08 e RU10 foram definidas, respectivamente, com os valores 1 e 3, uma vez que a manutenção do ângulo de ogiva entre 4º e 20º, apesar de propiciar razoável aumento da estabilidade aerodinâmica, implica em aumento da massa total do sistema, o que compromete o alcance do tiro.

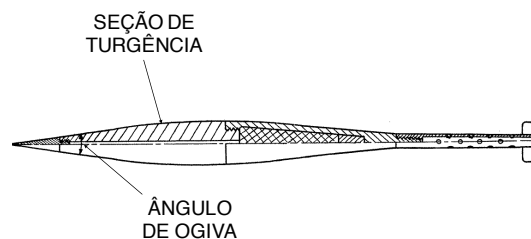


Figura 23 – Esquema de solução conforme o requisito técnico RT18.
Fonte: Adaptado de Hans (1955).

⁶⁶ A seção de turgência corresponde à seção transversal de maior diâmetro do corpo da granada.

O requisito técnico RT19 estabelece que o projétil deve conter carga autopropulsora com acionamento retardado por ignitor dedicado acoplado a dispositivo de propulsão ejetável. Tal solução técnica aproveita a deflagração da carga de propulsão para acionar um ignitor de autopropulsão através de orifícios dedicados. Além disso, a mesma deflagração provoca o acionamento de carga propelente posicionada posteriormente ao ignitor, também através de orifícios dedicados, que provoca a separação do subsistema de propulsão com relação ao restante do sistema (HOTCHKISS, 1964). Ambas as características da solução técnica apresentada pelo requisito RT19 estão apresentadas na figura 24 e satisfazem o requisito de usuário RU08, pelo qual o alcance deve ser máximo, na medida em que, além de conferirem uma capacidade propulsora adicional, ainda permitem a separação do subsistema de propulsão, o que permite a redução da massa total do sistema e, portanto, maior aproveitamento da energia de propulsão, motivo pelo qual a correlação entre o requisito técnico RT19 e o requisito de usuário RU08 foi definida com o valor 9.

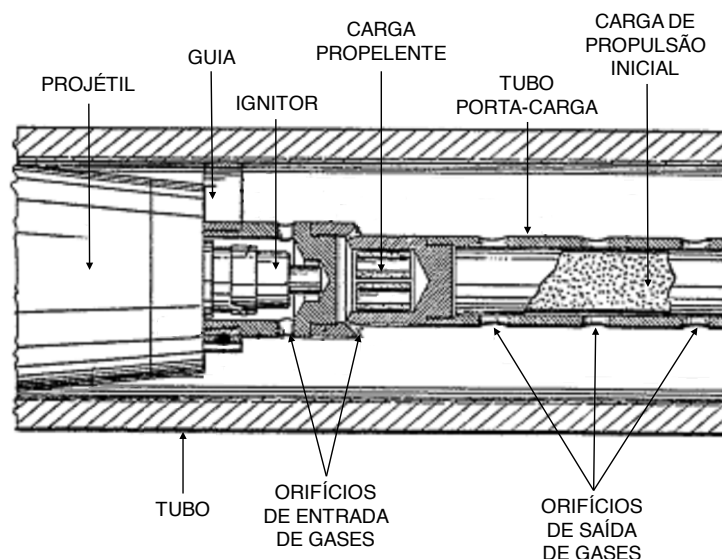


Figura 24 – Esquema de solução conforme o requisito técnico RT19.
Fonte: Adaptado de Hotchkiss (1964).

O requisito técnico RT20 dispõe sobre a configuração geométrica das aletas de estabilização aerodinâmica de forma a reduzir a perda de energia cinética decorrente do atrito do projétil com o ar atmosférico. A solução técnica estabelece que a empena

deve possuir aletas de estabilização com entalhes em sua parte anterior de forma a apresentarem aresta radial oblíqua e aresta axial paralela em relação ao eixo longitudinal da munição, visando a deflexão do ar contra as faces laterais das aletas, conforme disposto na figura 25 (HANS, 1961). O requisito técnico RT20 satisfaz os requisitos de usuário RU08 e RU10, aumentando o alcance e a precisão do tiro ao aumentar estabilidade aerodinâmica do projétil. Entretanto, tal solução não altera substancialmente a dimensão das aletas de forma a aumentar significativamente a estabilidade aerodinâmica do projétil, motivo pelo qual a correlação entre o requisito técnico RT20 e os requisitos de usuário RU08 e RU10 foram definidas com o valor 1.

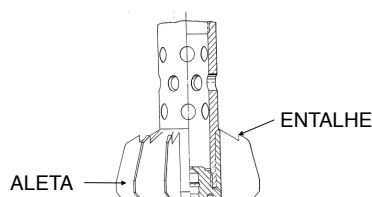


Figura 25 – Esquema de solução conforme o requisito técnico RT20.
Fonte: Adaptado de Hans (1961).

O requisito técnico RT21 estabelece que a granada deve possuir saia anular metálica em sua parte posterior que permita a descida livre da munição pelo tubo do armamento e cujas extremidade possa ser expandida pelos gases de propulsão de forma a retê-los no interior do tubo durante o disparo, conforme a figura 26 (LEWIS, 1941). O requisito RT21 satisfaz o requisito RU08, que identifica a necessidade de o alcance do tiro ser máximo, uma vez que a deformação da saia metálica em função da expansão dos gases de propulsão aumenta a eficiência do subsistema de propulsão ao evitar a saída de gases por ocasião do disparo pela superfície interna do tubo. A correlação entre ambos os requisitos foi definida com o valor 3, uma vez que a expansão da saia não pode obstruir completamente a passagem dos gases sob pena de impedir o próprio deslocamento do projétil.

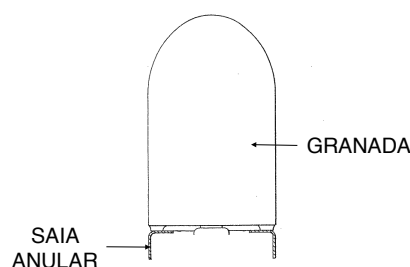


Figura 26 – Esquema de solução conforme o requisito técnico RT21.
 Fonte: Adaptado de Lewis (1941).

O requisito técnico RT22 apresenta um mecanismo de chaveamento que obriga a deflagração através de componente ativo com taxa de queima adequada para que o acionamento do trem explosivo tenha efeito retardado e não imediato, conforme a figura 27. Dessa forma, a opção pelo tiro com retardo provoca o desalinhamento do trem explosivo e obriga o acionamento deste através de componente ativo com taxa de queima adequada para o tempo de retardo necessário.

O requisito técnico RT22 satisfaz o requisito de usuário RU05, que identifica a necessidade de a detonação do projétil poder ser atrasada a partir do momento do impacto. Tal necessidade decorre da demanda pelo emprego da munição contra alvos inseridos no interior de estruturas rígidas, tal como edifícios, uma vez que a granada não deve detonar no momento do impacto, mas sim após determinado período de tempo decorrido do impacto, de forma a permitir que a granada esteja mais próxima ao alvo após atravessar a estrutura física que o contém, tal como paredes ou janelas (JUNGHANS GEB AG, 1963). A correlação entre os requisitos RT22 e RU05 foi definida com o valor 9, uma vez que a solução apresentada atende plenamente a necessidade consubstanciada pelo requisito de usuário.

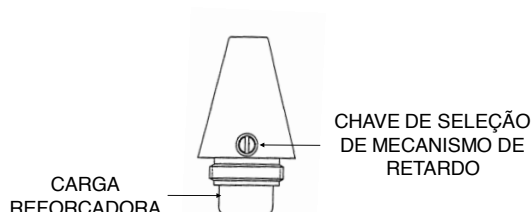


Figura 27 – Esquema de solução conforme o requisito técnico RT22.
 Fonte: Adaptado de Junghans Geb AG (1963).

O requisito técnico RT23, assim como o requisito técnico RT20, dispõe sobre a configuração geométrica das aletas de estabilização aerodinâmica. A solução técnica estabelece que a empena deve possuir aletas de estabilização com chapas retangulares acopladas transversalmente às suas respectivas arestas posteriores, conforme disposto na figura 28 (THE MINISTER OF NATIONAL DEFENSE, 1963). O requisito técnico RT23 satisfaz os requisitos de usuário RU08 e RU10, aumentando o alcance e a precisão do tiro ao aumentar estabilidade aerodinâmica do projétil. Entretanto, tal solução não altera substancialmente a dimensão das aletas de forma a aumentar significativamente a estabilidade aerodinâmica do projétil, motivo pelo qual a correlação entre o requisito técnico RT23 e os requisitos de usuário RU08 e RU10 foram definidas com o valor 1.

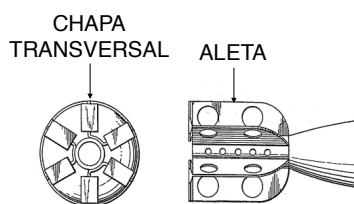


Figura 28 – Esquema de solução conforme o requisito técnico RT23.
Fonte: Adaptado de The Minister of National Defense (1963).

Os requisitos técnicos RT24, RT25 e RT26 apresentam soluções técnicas relacionadas ao subsistema de propulsão inicial, no âmbito do subsistema de propulsão.

Nesse sentido, o requisito técnico RT24 estabelece que o cartucho de propulsão inicial deve ser constituído de tubo contendo a carga propelente com a extremidade superior fechada e a extremidade inferior conectada à base contendo o ignitor sendo ambas as partes de polímero sintético, conforme a figura 29 (DYNAMIT NOBEL AG, 1968). O requisito técnico RT24 satisfaz o requisito de usuário RU08, que identifica a necessidade de o alcance do tiro ser máximo, uma vez que o cartucho de propulsão inicial contém a carga propelente responsável por iniciar o processo de propulsão a partir de percussão provocada por agente externo no ignitor. Entretanto, apesar de seus componentes serem constituídos de polímero sintético, a redução da massa total do sistema devido a tais componentes é pequena, razão pela qual a correlação entre o requisito técnico RT24 e o requisito de usuário RU08 foi definida com o valor 3.

Os requisitos RT25 e RT26 estabelecem a fixação do ignitor no cartucho de propulsão inicial através de rosca e no tubo porta-carga da empena através de flanges conforme indicado na figura 22 (DYNAMIT NOBEL AG, 1968). Ambos os requisitos satisfazem o requisito de usuário RU01, que identifica a necessidade de fixação da carga de propulsão inicial durante a armazenagem e o transporte da munição. A correlação de ambos os requisitos técnicos foi definida como de valor 3 uma vez que a solução permite a fixação do subsistema à munição, mas permite eventual separação.

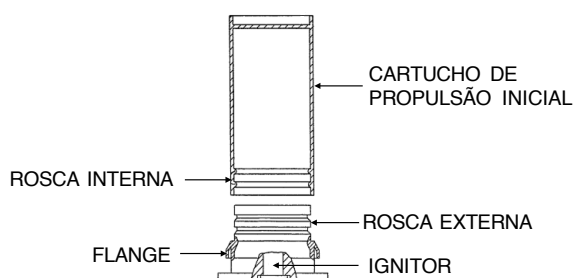


Figura 29 – Esquema de solução conforme os requisitos técnicos RT24, RT25 e RT26.
Fonte: Adaptado de Dynamit Nobel AG (1968).

O requisito técnico RT27 estabelece que a granada deve possuir projéteis de esferas de aço armazenadas no interior da parede, conforme disposto na figura 30 (DIEHL GMBH & CO, 2008). O requisito RT27 satisfaz o requisito de letalidade consubstanciado pelo requisito de usuário RU11, mas a disposição das esferas reduz a espessura da parede do corpo da granada e, portanto, a fragmentação da própria granada por ocasião da detonação, motivo pelo qual a correlação entre ambos os requisitos foi definida com o valor 1.

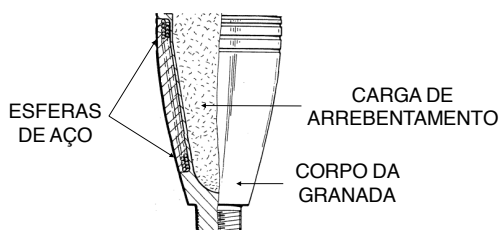


Figura 30 – Esquema de solução conforme o requisito técnico RT27.
Fonte: Adaptado de Diehl GMBH & CO (2008).

O requisito técnico RT28 apresenta um subsistema de acionamento composto por espoleta contendo aleta retrátil que permite o alinhamento do trem explosivo. A vantagem do referido subsistema consiste no fato de que o alinhamento do trem explosivo⁶⁷ ocorre através da abertura da aleta retrátil pela resistência do ar atmosférico após o disparo, o que elimina a necessidade de rotação do projétil para que ocorra o referido alinhamento (TDA ARMEMENTS SAS, 2004). O requisito técnico RT28 satisfaz o requisito de segurança consubstanciado no requisito de usuário RU03, pelo qual a detonação do projétil não deve ocorrer antes do disparo, o que consiste em um mecanismo de segurança contra a detonação prematura. A correlação entre ambos os requisitos foi definida com o valor 9, uma vez que o requisito técnico em questão é adequado para conferir segurança⁶⁸ ao sistema ao impossibilitar uma detonação prematura. A figura 31 apresenta o subsistema de acionamento consubstanciado no requisito técnico RT28.

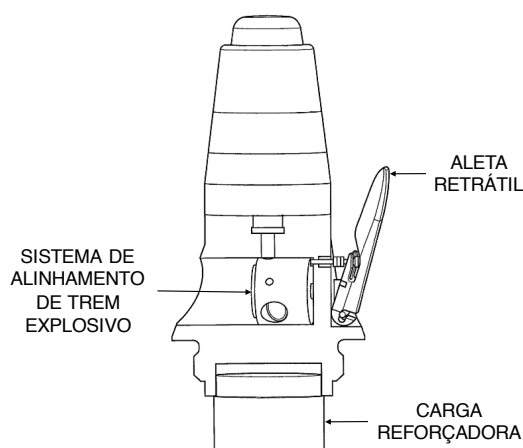


Figura 31 – Esquema de solução conforme o requisito técnico RT28.
Fonte: Adaptado de TDA Armements Sas (2004).

O requisito técnico RT29 estabelece que a carga de arrebentamento deve ser nitropenta, o que satisfaz o requisito de letalidade consubstanciado no requisito de usuário RU11 através de correlação com valor 9 (BAUMS, 1984). Apesar de poder ser empregado para a satisfação do requisito de usuário RU12, que identifica a necessidade

⁶⁷ O alinhamento do trem explosivo permite a detonação da carga reforçadora a partir da detonação prévia de carga da carga iniciadora após o impacto, após o que a detonação é transmitida à carga de arrebentamento.

⁶⁸ O trem explosivo se encontra, inicialmente, desalinhado, de forma que a detonação de um componente ativo não possa atingir o componente ativo subsequente, o que garante segurança ao sistema.

de o tiro poder ser empregado contra blindagem balística, a solução técnica não dispõe outros sistemas tipicamente empregados contra blindagens, o que justifica uma correlação entre ambos os requisitos RT29 e RU12 de valor 1.

O requisito técnico RT30 estabelece que a espoleta deve conter trem explosivo constituído por sequência de explosivos com sensibilidade decrescente até a carga de arrebetamento com variação de densidade de 1,2 a 1,7 g/cm³, o que permite que o acionamento seja transmitido a partir de uma pequena quantidade de explosivo com alta sensibilidade através de explosivos com sensibilidade menores, porém com maior massa, capazes de transferir a detonação para a carga de arrebetamento, em geral composta por explosivos de pouca sensibilidade (KORENKOV, 2005). O requisito RT30 satisfaz o requisito de usuário RU06, pelo qual a detonação do projétil não deve falhar, com uma correlação de valor 9, uma vez que o gradiente de sensibilidade contribui de forma significativa para eliminar a possibilidade de falha nos impactos.

O requisito técnico RT31 estabelece que a espoleta deve dispor de orifícios laterais capazes transmitir transversalmente o impacto para o início da sequência do trem explosivo, o que é útil em caso de impacto oblíquo com o alvo (DIEHL GMBH & CO, 1987). O requisito RT30 também satisfaz o requisito de usuário RU06, pelo qual a detonação do projétil não deve falhar, mas com uma correlação de valor 1, uma vez que a solução apresentada é restrita aos menos frequentes impactos oblíquos.

O requisito técnico RT32 estabelece que o subsistema de propulsão deve conter carga inicial central sobre o eixo longitudinal da munição e cargas adicionais concêntricas paralelas ao mesmo eixo e acionadas pela carga inicial através de passagens seletivas, conforme disposto na figura 32 (THRING & GODFREY, 1919). O requisito técnico RT32 satisfaz o requisito de usuário RU09, pelo qual o alcance do tiro deve ser variável, uma vez que permite a seleção da quantidade de cargas adicionais concêntricas. Entretanto, a configuração estabelecida pelo requisito técnico RT32 reduz a quantidade de carga propelente total, razão pela qual a correlação entre ambos os requisitos foi definida com o valor 1.

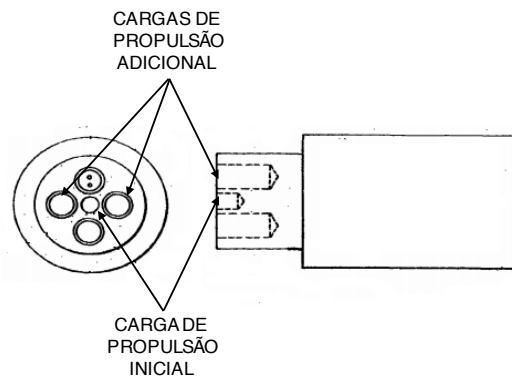


Figura 32 – Esquema de solução conforme o requisito técnico RT32.
 Fonte: Adaptado de Thring & Godfrey (1919).

O requisito técnico RT33 estabelece que o cartucho de propulsão inicial deve possuir dois ignitores localizados em extremidades opostas conectadas por passagem axial de forma a acionar a carga de projeção localizada na lateral do cartucho em sentido descendente, conforme disposto na figura 33 (HOLGE, 1957).

O requisito técnico RT33 satisfaz o requisito de usuário RU08, pelo qual o alcance do tiro deve ser máximo, uma vez que permite o acionamento das cargas laterais em um sentido descendente. Entretanto, assim como o requisito técnico RT32, a configuração estabelecida pelo requisito técnico RT32 reduz a quantidade de carga propelente total, razão pela qual a correlação entre ambos os requisitos foi definida com o valor 1.

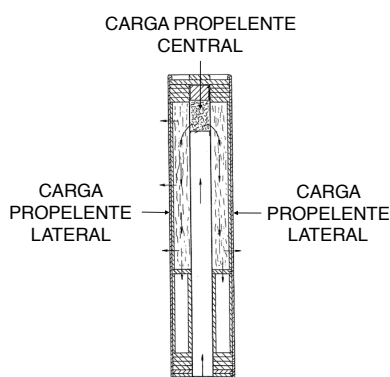


Figura 33 – Esquema de solução conforme o requisito técnico RT33.
 Fonte: Adaptado de Holge (1957).

Os requisitos técnicos e os requisitos de usuário, bem como as suas respectivas correlações estão dispostos na matriz de correlações, disposta na figura 34. Além da matriz, são apresentadas também as relevâncias comerciais relativas a cada requisito de usuário e as relevâncias técnicas relativas a cada requisito técnico, além dos valores médios das importâncias atribuídas pelos usuários para cada requisito de usuário.

	RT 01	RT 02	RT 03	RT 04	RT 05	RT 06	RT 07	RT 08	RT 09	RT 10	RT 11	RT 12	RT 13	RT 14	RT 15	RT 16	RT 17	RT 18	RT 19	RT 20	RT 21	RT 22	RT 23	RT 24	RT 25	RT 26	RT 27	RT 28	RT 29	RT 30	RT 31	RT 32	RT 33	MÉDIA	RELEVÂNCIA COMERCIAL			
RU01																										3	3								3,6	21,6		
RU02				3																															3,9	11,7		
RU03																												9							5,0	45,0		
RU04												3																							5,0	15,0		
RU05																						9													2,7	24,3		
RU06											9																				9	1			4,3	81,7		
RU07	9																																		2,6	23,4		
RU08		3			1	1	1	1	9	3				9	9	3	3	1	9	1	3			1	3								1		3,7	229,4		
RU09			9																														1			4,2	42,0	
RU10										3						1	3	3		1			1												4,3	51,6		
RU11												1															1		9						3,8	41,8		
RU12																														1						3,6		
RELEVÂNCIA TÉCNICA																																						
23,4	11,1	37,8	11,7	3,7	3,7	3,7	3,7	33,3	24	38,7	15	3,8	33,3	33,3	15,4	24	16,6	33,3	8	11,1	24,3	8	11,1	10,8	10,8	3,8	45	37,8	38,7	4,3	4,2	3,7						

Figura 34 – Matriz de correlação ente requisitos.
Fonte: Autor.

Por fim, cabe destacar que o *benchmarking* competitivo não foi avaliado porque a empresa fabricante do tipo de produto objeto do presente Estudo de Caso não possui competidores no mercado nacional.

6.5. Identificação de Contradições Técnicas

As interações entre os requisitos técnicos foram obtidas a partir da matriz de interações disposto na figura 35, na qual as interações entre requisitos técnicos que se reforçam mutuamente, isto é, que melhoram os efeitos provocados por cada um, são representadas pelo sinal positivo na cor azul, enquanto as interações entre requisitos técnicos cujos efeitos são reciprocamente deteriorados ou que representam subsistemas incompatíveis são representadas pelo sinal negativo na cor vermelha. Ainda, a ausência de interação ente requisitos técnicos, seja ela positiva ou negativa, foi identificada com a ausência de qualquer tipo de sinal na matriz.

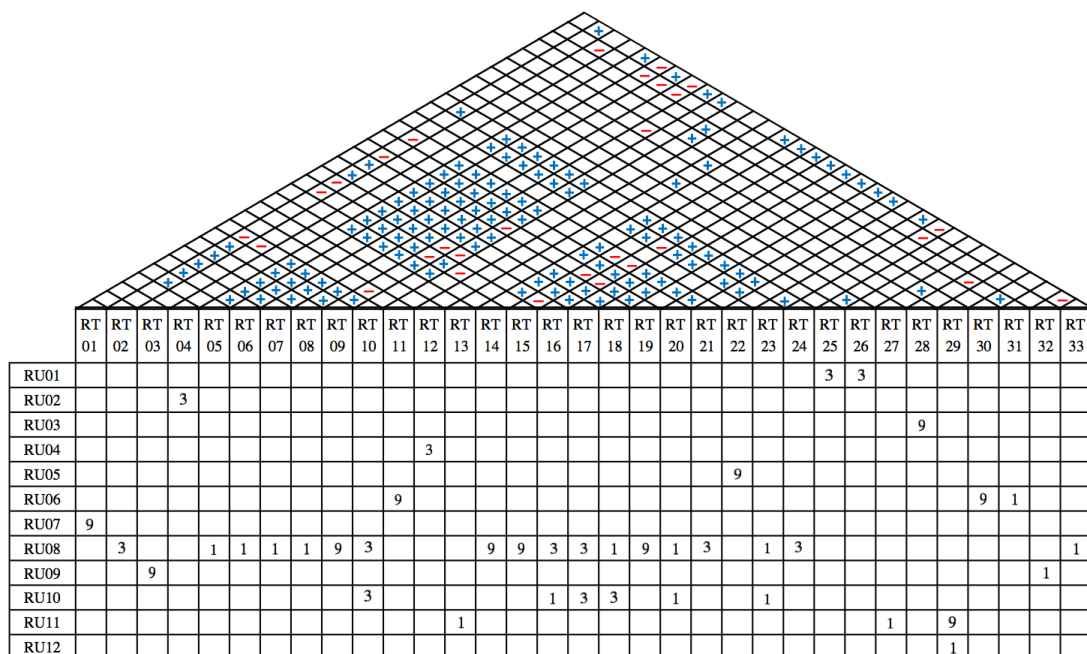


Figura 35 – Matriz de interação entre requisitos técnicos.
Fonte: Autor.

A matriz de interação disposta na figura 28 identifica 29 interações negativas entre requisitos técnicos, das quais 11 constituem também contradições técnicas, isto é, representam interações nas quais a melhora do efeito provocado por um requisito técnico é acompanhada da deterioração do efeito provocado pelo outro requisito técnico. Assim, as outras 18 interações negativas identificadas correspondem aos casos de incompatibilidade entre dois subsistemas, ou seja, quando dois subsistemas não podem coexistir em um mesmo conceito de produto em função das suas configurações físicas, ainda que provoquem o mesmo efeito final.

As interações negativas que não correspondem a contradições técnicas estão dispostas na tabela 11, que apresenta os pares de requisitos técnicos em conflito e os requisitos de usuário correspondentes a cada par.

Tabela 11 – Requisitos técnicos com interação negativa não contraditória.

1º Requisito Técnico	2º Requisito Técnico	Requisito de Usuário
RT02	RT21	RU08
RT02	RT15	RU08
RT02	RT16	RU08

1º Requisito Técnico	2º Requisito Técnico	Requisito de Usuário
RT02	RT19	RU08
RT03	RT32	RU09
RT06	RT33	RU08
RT08	RT33	RU08
RT09	RT15	RU08
RT09	RT16	RU08
RT10	RT16	RU08
RT10	RT19	RU08
RT15	RT16	RU08
RT15	RT19	RU08
RT15	RT21	RU08
RT16	RT19	RU08
RT16	RT21	RU08
RT16	RT23	RU08
RT24	RT33	RU08

Fonte: Autor.

As interações negativas que correspondem a contradições técnicas estão dispostas na tabela 12, que apresenta os pares de requisitos técnicos em conflito e os pares dos respectivos requisitos de usuário.

Tabela 12 – Requisitos técnicos com interação negativa contraditória.

1º Requisito Técnico	2º Requisito Técnico	1º Requisito de Usuário	2º Requisito de Usuário
RT02	RT10	RU08	RU10
RT03	RT10	RU09	RU10
RT09	RT29	RU08	RU11
RT09	RT11	RU08	RU06
RT15	RT11	RU08	RU06

1º Requisito Técnico	2º Requisito Técnico	1º Requisito de Usuário	2º Requisito de Usuário
RT28	RT31	RU03	RU06
RT32	RT06	RU09	RU08
RT32	RT07	RU09	RU08
RT32	RT08	RU09	RU08
RT32	RT24	RU09	RU08
RT32	RT33	RU09	RU08

Fonte: Autor.

As interações negativas dispostas na tabela 12 podem ser apresentadas em função das contradições técnicas que exprimem, ou seja, dos efeitos mutuamente excludentes consolidados nos requisitos de usuário correspondentes. Nesse sentido, a tabela 13 apresenta as contradições técnicas relativamente a cada par de requisitos técnicos em conflito.

Tabela 13 – Requisitos técnicos e contradições técnicas.

1º Requisito Técnico	2º Requisito Técnico	1º Efeito	2º Efeito
RT02	RT10	Alcance	Precisão
RT03	RT10	Variação	Precisão
RT09	RT29	Alcance	Letalidade
RT09	RT11	Alcance	Eficácia
RT15	RT11	Alcance	Eficácia
RT28	RT31	Segurança	Eficácia
RT32	RT06	Variação	Alcance
RT32	RT07	Variação	Alcance
RT32	RT08	Variação	Alcance
RT32	RT24	Variação	Alcance
RT32	RT33	Variação	Alcance

Fonte: Autor.

6.6. Eliminação de Contradições Técnicas

A eliminação das contradições técnicas consiste na identificação de soluções técnicas que não compreendam uma solução de compromisso entre duas características técnicas desejáveis em determinado sistema. Dessa forma, a eliminação de contradições técnicas busca uma solução que permita a maximização dos efeitos provocados por ambas as características em determinado sistema. Para tanto, as características dos sistemas que ensejam as contradições técnicas devem ser associadas aos parâmetros de engenharia dispostos no Apêndice B, os quais fornecem um ou mais princípios e subprincípios inventivos dispostos no Apêndice C através da Matriz de Contradição disposta no Apêndice D. A identificação dos princípios e subprincípios através da Matriz de Contradição é feita através da coordenada composta pelo número referente ao parâmetro a ser melhorado situado na parte esquerda da Matriz e pelo número referente ao parâmetro cuja deterioração deve ser evitada situado na parte superior da Matriz.

A contradição técnica existente entre os requisitos RT02 e RT10 implica na redução da precisão em troca do aumento do alcance do tiro. Isso ocorre porque a solução proposta pelo requisito RT02 prevê a desconexão do subsistema de propulsão de forma a aumentar o alcance do tiro, enquanto a solução proposta pelo requisito RT10 prevê a utilização de aletas retráteis que aumentam o raio de extensão do subsistema de estabilização aerodinâmica. A desconexão do subsistema de propulsão provoca também a ejeção das aletas, uma vez que o subsistema de propulsão está inserido na haste que suporta as aletas. Como o aumento do alcance ocorre em função da redução da massa total do sistema através da desconexão do subsistema de propulsão, o requisito RT02 pode ser associado ao parâmetro de engenharia **Perda de Substância**. Por sua vez, o requisito RT10 pode ser associado ao parâmetro de engenharia **Confiabilidade**, uma vez que a retirada das aletas provoca a perda de precisão do tiro. A coordenada da Matriz de Contradição identificada pelo parâmetro de engenharia a ser melhorado, isto é, a **Perda de Substância**, e pelo parâmetro de engenharia cuja deterioração deve ser evitada, isto é, a **Confiabilidade**, é formada pela linha 23 e coluna 27, e fornece os princípios inventivos **Ação Prévia**, **Construções Pneumáticas** ou

Hidráulicas, Transformação de Propriedades e Ambiente Inerte, identificados, respectivamente, pelos números 10, 29, 35 e 39.

A utilização do princípio inventivo **Ação Prévia**, através do subprincípio inventivo que prevê o posicionamento prévio de objetos para executar ação imediatamente no local mais conveniente, sugere a retirada do subsistema de propulsão do interior da haste do requisito RT10 e a promoção prévia da ação de propulsão com auxílio do subsistema previsto no requisito RT02. Da mesma forma, a utilização do princípio inventivo **Transformação de Propriedades**, através do subprincípio inventivo que prevê a modificação do grau de flexibilidade de um sistema, sugere a adaptação do projétil previsto no requisito RT02 de forma a possuir haste contendo aletas retráteis com auxílio do subsistema previsto no requisito RT10. Ambas as soluções propostas ensejam o estabelecimento do requisito técnico RT34 que determina que **“o projétil deve conter aletas aerodinâmicas articuláveis passíveis de rotação longitudinal e fixadas à granada através de haste conectada a subsistema de propulsão ejetável”**.

A contradição técnica existente entre os requisitos RT03 e RT10 implica na redução da precisão em troca do aumento da variação do alcance do tiro. Isso ocorre porque a solução proposta pelo requisito RT03 prevê a disposição axial de cargas de propulsão adicional que podem ser inseridas ou removidas em função do alcance desejado do tiro, enquanto a solução proposta pelo requisito RT10 prevê a utilização de aletas retráteis que aumentam o raio de extensão do subsistema de estabilização aerodinâmica. Como o subsistema de propulsão está inserido na haste que suporta as aletas, estas impedem a inserção das cargas de propulsão adicional e, portanto, a possibilidade de variação do alcance do tiro. Assim, a inserção das cargas adicionais de propulsão implica na remoção das aletas de estabilização e, portanto, na redução da precisão do tiro. Como o aumento da possibilidade de variação do alcance ocorre através da inserção ou da remoção das cargas de propulsão adicional, o requisito RT03 pode ser associado ao parâmetro de engenharia **Capacidade de Adaptação**. Por sua vez, o requisito RT10 pode ser associado ao parâmetro de engenharia **Confiabilidade**, uma vez que a retirada das aletas provoca a perda de precisão do tiro. A coordenada da Matriz de Contradição identificada pelo parâmetro de engenharia a ser melhorado, isto é, a **Capacidade de Adaptação**, e pelo parâmetro de engenharia cuja deterioração deve ser evitada, isto é, a **Confiabilidade**, é formada pela linha 35 e coluna 27, e fornece os

princípios inventivos **Contrapeso, Execução Reversa, Mediação e Transformação de Propriedades**, identificados, respectivamente, pelos números 8, 13, 24 e 35.

A utilização do princípio inventivo **Mediação**, através do subprincípio inventivo que prevê a conexão temporária do objeto original a um facilmente removível, sugere a retirada do subsistema de propulsão do interior da haste do requisito RT10 e, dessa forma, promover a ação de propulsão com auxílio do subsistema previsto no requisito RT03 através de dispositivo removível, o que enseja o estabelecimento do requisito técnico RT35 que determina que “**o projétil deve conter aletas aerodinâmicas retráteis fixadas à granada através de haste conectada a subsistema de propulsão ejetável contendo cargas removíveis de propulsão adicional dispostas longitudinalmente ao longo de seu eixo**”.

A contradição técnica existente entre os requisitos RT09 e RT29 implica na redução da letalidade em troca do aumento do alcance do tiro. Isso ocorre porque a solução proposta pelo requisito RT09 prevê que o projétil deve conter carga de propulsão adicional no interior da granada com acionamento retardado por ignitor dedicado, enquanto a solução proposta pelo requisito RT29 prevê que a carga de arrebentamento seja de nitropenta. Como a carga de arrebentamento ocupa o volume interior da granada, a inserção de carga de propulsão adicional, apesar de aumentar o alcance do projétil, reduz o volume ocupado pela carga explosiva e, portanto, a letalidade do tiro. Como o aumento do alcance ocorre através da inserção de carga de propulsão adicional independente do subsistema de propulsão da munição, o requisito RT09 pode ser associado ao parâmetro de engenharia **Tempo de Ação de Objeto Móvel**. Por sua vez, o requisito RT29 pode ser associado ao parâmetro de engenharia **Volume de Objeto Móvel**, uma vez que a inserção da carga de propulsão adicional reduz o volume de carga explosiva. A coordenada da Matriz de Contradição identificada pelo parâmetro de engenharia a ser melhorado, isto é, o **Tempo de Ação de Objeto Móvel**, e pelo parâmetro de engenharia cuja deterioração deve ser evitada, isto é, o **Volume de Objeto Móvel**, é formada pela linha 15 e coluna 7, e fornece os princípios inventivos **Extração, Ação Prévia, Ação Periódica e Membranas Flexíveis ou Filmes Finos**, identificados, respectivamente, pelos números 2, 10, 19 e 30.

A utilização do princípio inventivo **Extração**, através do subprincípio inventivo que prevê a extração de parte ou propriedade desejada ou necessária do objeto, sugere

a retirada da carga de propulsão adicional do interior da granada. Além disso, a utilização do princípio inventivo **Ação Prévia**, através do seu subprincípio inventivo que prevê o posicionamento prévio de objetos para executar ação imediatamente no local mais conveniente, pode sugerir o posicionamento prévio da carga de propulsão adicional, antes da granada, mas após o subsistema regular de propulsão. No entanto, como o posicionamento em série do subsistema regular de propulsão seguido de outro subsistema de propulsão adicional pode aumentar sobremaneira o comprimento do projétil e, por conseguinte, reduzir a sua estabilidade aerodinâmica, a solução demanda a separação do subsistema regular de propulsão do subsistema de propulsão adicional, o que enseja o estabelecimento do requisito RT36 que determina que **“o projétil deve conter granada carregada com nitropenta com haste externa contendo carga de propulsão adicional conectada a subsistema de propulsão ejetável”**.

A contradição técnica existente entre os requisitos RT09 e RT11 implica na redução da eficácia em troca do aumento do alcance do tiro. Isso ocorre porque a solução proposta pelo requisito RT09 prevê que o projétil deve conter carga de propulsão adicional no interior da granada com acionamento retardado por ignitor dedicado, enquanto a solução proposta pelo requisito RT11 prevê que a detonação da carga de arrebentamento seja atrasada a partir do momento do disparo através de um mecanismo de retardo contido em uma espoleta de base, isto é, na parte posterior da granada. Como a espoleta de base é posicionada na parte posterior da granada, a inserção de carga de propulsão adicional no interior desta implica na colocação de elemento externo entre a espoleta de base e a carga de arrebentamento, impedindo a detonação desta e, portanto, reduzindo a eficácia da detonação garantida pela espoleta de base. Além disso, a existência da espoleta de base na parte posterior da granada impede o próprio acionamento da carga de propulsão adicional, uma vez se situa entre esta e o subsistema regular de propulsão, responsável por tal acionamento. O aumento de alcance promovido pela inserção de carga de propulsão adicional independente do subsistema de propulsão da munição, permite que o requisito RT09 possa ser associado ao parâmetro de engenharia **Tempo de Ação de Objeto Móvel**. Por sua vez, o requisito RT11 pode ser associado ao parâmetro de engenharia **Confiabilidade**, uma vez que a espoleta de base garante a detonação do projétil. A coordenada da Matriz de Contradição identificada pelo parâmetro de engenharia a ser melhorado, isto é, o

Tempo de Ação de Objeto Móvel, e pelo parâmetro de engenharia cuja deterioração deve ser evitada, isto é, a **Confiabilidade**, é formada pela linha 15 e coluna 27, e fornece os princípios inventivos **Extração**, **Amortecimento Prévio** e **Execução Reversa**, identificados, respectivamente, pelos números 2, 11 e 13.

A utilização do princípio inventivo **Extração**, através do subprincípio inventivo que prevê a extração de parte ou propriedade desejada ou necessária do objeto, sugere a retirada da carga de propulsão adicional do interior da granada. Além disso, a utilização do princípio inventivo **Execução Reversa**, através do subprincípio inventivo que prevê a virada do objeto verticalmente, sugere a alteração da sequência formada pela carga de propulsão adicional e a espoleta de base, de forma que a primeira seja posicionada antes da segunda. Dessa forma, a espoleta de base pode provocar a detonação da carga de arrebentamento e a carga de propulsão adicional pode ser acionada pelo subsistema regular de propulsão, além de também acionar a espoleta de base. Considerando que o posicionamento em série do subsistema regular de propulsão seguido de outro subsistema de propulsão adicional pode aumentar sobremaneira o comprimento do projétil e, por conseguinte, reduzir a sua estabilidade aerodinâmica, a solução demanda a separação do subsistema regular de propulsão do subsistema de propulsão adicional. Dessa forma, as soluções propostas ensejam o estabelecimento do requisito RT37 que determina que **“o projétil deve possuir haste externa contendo espoleta de base com mecanismo de retardo em sua parte interna anterior e carga de propulsão adicional em sua parte interna posterior, esta conectada a subsistema de propulsão ejetável”**.

A contradição técnica existente entre os requisitos RT15 e RT11 implica na redução da eficácia em troca do aumento do alcance do tiro. Isso ocorre porque a solução proposta pelo requisito RT15 prevê o acoplamento do projétil a um dispositivo ejetável contendo o subsistema de propulsão em sua parte posterior e sulcos na superfície externa em sua parte, enquanto a solução proposta pelo requisito RT11 prevê que a detonação da carga de arrebentamento seja atrasada a partir do momento do disparo através de um mecanismo de retardo contido em uma espoleta de base, isto é, na parte posterior da granada. Como a espoleta de base é posicionada na parte posterior da granada, a utilização da solução disposta pelo requisito RT15 impede o acionamento da espoleta e, portanto, reduz a eficácia da detonação garantida por ela, uma vez que a

solução prevê a inserção de cone de fixação conectando o projétil e o dispositivo ejetável de propulsão. O aumento do alcance proporcionado requisito RT15 ocorre em função da redução da massa total do sistema através da desconexão do subsistema de propulsão, bem como através da retenção dos gases de propulsão, o que permite a associação do requisito RT15 aos parâmetros de engenharia **Perda de Substância** e **Tensão/Pressão**. Por sua vez, o requisito RT11 pode ser associado ao parâmetro de engenharia **Confiabilidade**, uma vez que a espoleta de base garante a detonação do projétil. A coordenada da Matriz de Contradição identificada pelo primeiro parâmetro de engenharia a ser melhorado, isto é, a **Perda de Substância**, e pelo parâmetro de engenharia cuja deterioração deve ser evitada, isto é, a **Confiabilidade**, é formada pela linha 23 e coluna 27, e fornece os princípios inventivos **Ação Prévia**, **Construções Pneumáticas ou Hidráulicas**, **Transformação de Propriedades** e **Ambiente Inerte**, identificados, respectivamente, pelos números 10, 29, 35 e 39. Já a coordenada da Matriz de Contradição identificada pelo segundo parâmetro de engenharia a ser melhorado, isto é, a **Tensão/Pressão**, e pelo parâmetro de engenharia cuja deterioração deve ser evitada, isto é, a **Confiabilidade**, é formada pela linha 11 e coluna 27, e fornece os princípios inventivos **Ação Prévia**, **Execução Reversa**, **Ação Periódica** e **Transformação de Propriedades**, identificados, respectivamente, pelos números 10, 13, 19 e 35.

A utilização do princípio inventivo **Execução Reversa**, através do subprincípio inventivo que prevê a implementação de ação oposta em vez de direcioná-la em função do problema, sugere a implementação de carga propelente em sentido contrário ao sentido de deslocamento do projétil com o objetivo de promover a ejeção do subsistema de propulsão. Além disso, a utilização do princípio inventivo **Ação Prévia**, através do subprincípio inventivo que prevê o posicionamento prévio de objetos para executar ação imediatamente no local mais conveniente, sugere a implementação de carga ignitora disposta anteriormente à espoleta de base de forma a permitir o acionamento desta. Ambas as soluções propostas ensejam o estabelecimento dos requisitos RT38 que determina que “**o projétil deve conter espoleta de base acionável por ignitor dedicado com mecanismo de retardo inserido em subsistema de propulsão ejetável por carga propelente inversa, sendo esta acionável pelos gases de propulsão através de orifícios radiais, assim como o ignitor**” e RT39 que determina que “o

subsistema de propulsão ejetável deve conter disco em sua porção anterior com diâmetro externo igual ao calibre da munição e com a superfície externa contendo um par de sulcos paralelos”.

A contradição técnica existente entre os requisitos RT28 e RT31 implica na redução da eficácia em troca do aumento da segurança do tiro. Isso ocorre porque a solução proposta pelo requisito RT28 prevê que a espoleta deve ter aleta lateral retrátil capaz de provocar o alinhamento do trem explosivo quando aberta por ação do fluxo de ar atmosférico, enquanto a solução proposta pelo requisito RT31 prevê que a espoleta contenha furos radiais capazes de transmitir a percussão decorrente de impacto oblíquo ao trem explosivo de forma a desencadear o processo de detonação. Como a inserção da aleta lateral retrátil obstrui os furos radiais da espoleta dispostos no mesmo lado da aleta, o aumento da segurança trazido pelo requisito RT28 implica na redução da eficácia consubstanciada pelo requisito RT31. O requisito RT28 contribui para o aumento da segurança uma vez que só permite o alinhamento do trem explosivo após o disparo através da abertura da aleta lateral retrátil devido ao fluxo de ar, isto é, o aumento da área de contato da aleta com o ar provoca o alinhamento do trem explosivo, o que permite a associação do requisito RT28 ao parâmetro de engenharia **Área de Objeto Móvel**. Por sua vez, o requisito RT31 pode ser associado ao parâmetro de engenharia **Confiabilidade**, uma vez que a solução permite a detonação do projétil mesmo em impactos oblíquos. A coordenada da Matriz de Contradição identificada pelo parâmetro de engenharia a ser melhorado, isto é, a **Área de Objeto Móvel**, e pelo parâmetro de engenharia cuja deterioração deve ser evitada, isto é, a **Confiabilidade**, é formada pela linha 5 e coluna 27, e fornece os princípios inventivos **Ação Contrária Prévia** e **Construções Pneumáticas ou Hidráulicas**, identificados, respectivamente, pelos números 9 e 29.

A utilização do princípio inventivo **Ação Contrária Prévia**, através do subprincípio inventivo que prevê o carregamento prévio de um objeto com tensão contrária para compensar tensões indesejáveis excessivas, pode ser adaptado para a utilização de contramedida prévia que garanta a detonação da carga de arrebentamento e, portanto, a eficácia do tiro. A adaptação do subprincípio ao caso em tela sugere a implementação de espoleta de base localizada na parte posterior da granada, com acionamento prévio provocado pelos gases gerados pelo subsistema de propulsão, o que garante que a carga

explosiva contida na granada seja detonada a partir do próprio disparo do tiro, independentemente, portanto, das características do impacto. No entanto, a espoleta de base deve conter mecanismo de retardo com material ativo cuja taxa de queima permita que a detonação ocorra em momento adequadamente posterior, evitando-se uma detonação prematura antes do impacto com o alvo ou mesmo no exato momento do disparo. A solução proposta permite a manutenção de espoleta convencional na parte anterior da granada com mecanismo de segurança consistindo de aleta retrátil, o que enseja o estabelecimento do requisito RT40 que determina que **“o projétil deve conter granada com espoleta em sua parte anterior contendo aleta retrátil promotora do alinhamento do trem explosivo através de sua abertura causada pelo fluxo de ar atmosférico, além de espoleta de base em sua parte posterior com dispositivo pirotécnico de retardo de acionamento composto por carga de transmissão com reduzida taxa de queima”**.

As contradições técnicas existentes entre os requisitos RT32 e os requisitos RT06, RT07, RT08, RT24 e RT33 implicam na redução do alcance em troca do aumento da capacidade de variação do alcance do tiro. Tais contradições são consideradas conjuntamente uma vez que possuem a mesma causa que consiste na substituição dos elementos de propulsão inicial presentes nos requisitos RT06, RT07, RT08, RT24 e RT33 pelos elementos que possibilitam a variação de alcance presente no requisito RT32. Isso ocorre porque as soluções de propulsão inicial são dispostas axialmente ao longo do subsistema de propulsão, assim como a solução de variação de alcance, o que demanda a escolha entre quaisquer das soluções de propulsão inicial e a solução de variação de alcance, ou seja, esta não pode coexistir com as primeiras porque ocupam o mesmo espaço físico. Assim, a implementação da solução de variação de alcance do requisito RT32 implica na redução do alcance máximo do tiro, uma vez que requer a remoção das soluções de propulsão inicial. Como o aumento da possibilidade de variação do alcance ocorre através da inserção ou da remoção das cargas de propulsão adicional, o requisito RT32 pode ser associado ao parâmetro de engenharia **Capacidade de Adaptação**. Por sua vez, os requisitos RT06, RT07, RT08, RT24 e RT33 podem ser associados ao parâmetro de engenharia **Força**, uma vez que as soluções propostas por tais requisitos aumentam a força de propulsão. A coordenada da Matriz de Contradição identificada pelo parâmetro de engenharia a ser melhorado, isto é, a **Capacidade de Adaptação**, e

pelo parâmetro de engenharia cuja deterioração deve ser evitada, isto é, a **Força**, é formada pela linha 35 e coluna 10, e fornece os princípios inventivos **Dinamicidade**, **Transição Dimensional** e **Continuidade de Ação Útil**, identificados, respectivamente, pelos números 15, 17 e 20.

A utilização do princípio inventivo **Transição Dimensional**, através do subprincípio inventivo que prevê a utilização do lado oposto de uma superfície, sugere a utilização do lado oposto da superfície do eixo do subsistema de propulsão, isto é, a superfície externa de tal eixo, o que pode ser feito através da disposição externa das cargas adicionais de propulsão. A solução proposta permite a manutenção das soluções existentes de propulsão inicial, que devem permanecer na parte interna do eixo, o que enseja o estabelecimento do requisito RT41 que determina que **“o subsistema de propulsão deve conter cargas removíveis de propulsão adicional dispostas longitudinalmente ao longo de seu eixo, o qual deve conter internamente dispositivo de propulsão inicial composto por carga pirotécnica conectada a ignitor de percussão”**.

A tabela 14 apresenta os pares de requisitos técnicos originais e os seus respectivos requisitos técnicos derivados, bem como os parâmetros de engenharia e os princípios inventivos utilizados para a eliminação das contradições técnicas atinentes a cada par de requisitos técnicos originais.

Tabela 14 – Requisitos técnicos originais e derivados.

1º Requisito Técnico Original	2º Requisito Técnico Original	1º Parâmetro de Engenharia	2º Parâmetro de Engenharia	Princípio Inventivo	Requisito Técnico Derivado
RT02	RT10	Perda de Substância	Confiabilidade	Ação Prévia / Transformação de Propriedades	RT34
RT03	RT10	Capacidade de Adaptação	Confiabilidade	Mediação	RT35
RT09	RT29	Tempo de Ação de Objeto Móvel	Volume de Objeto Móvel	Extração / Ação Prévia	RT36
RT09	RT11	Tempo de Ação de Objeto Móvel	Confiabilidade	Extração / Execução Reversa	RT37

1º Requisito Técnico Original	2º Requisito Técnico Original	1º Parâmetro de Engenharia	2º Parâmetro de Engenharia	Princípio Inventivo	Requisito Técnico Derivado
RT15	RT11	Perda de Substância / Tensão ou Pressão	Confiabilidade	Execução Reversa / Ação Prévia	RT38 / RT39
RT28	RT31	Área de Objeto Móvel	Confiabilidade	Ação Contrária Prévia	RT40
RT32	RT06	Capacidade de Adaptação	Força	Transição Dimensional	RT41
RT32	RT07	Capacidade de Adaptação	Força	Transição Dimensional	RT41
RT32	RT08	Capacidade de Adaptação	Força	Transição Dimensional	RT41
RT32	RT24	Capacidade de Adaptação	Força	Transição Dimensional	RT41
RT32	RT33	Capacidade de Adaptação	Força	Transição Dimensional	RT41

Fonte: Autor.

6.7. Definição de Conceito de Produto

A definição do conceito de produto a partir dos requisitos levantados é feita através da disposição destes em uma matriz de seleção conceitual que contrapõe os requisitos de usuário e os conceitos consubstanciados nos requisitos técnicos, estes considerados individual ou conjuntamente. Dessa forma, a matriz de seleção conceitual é formada por linhas contendo os requisitos de usuário e de colunas contendo os conceitos de produtos gerados a partir dos requisitos técnicos. A interseção de determinada linha com determinada coluna apresenta o nível de satisfação do requisito de usuário pelo conceito considerado quando comparado com o conceito de referência, este gerado a partir dos requisitos técnicos levantados por ocasião da eliminação de contradições técnicas. A escolha de tais requisitos técnicos para a definição do conceito de referência se deve ao fato de que eles propiciam o atendimento pleno dos requisitos de usuário atinentes, sem qualquer solução de compromisso entre dois requisitos de usuário quaisquer, enquanto os demais requisitos técnicos consubstanciam apenas

interações negativas não contraditórias a respeito de determinado efeito. Assim, uma vez definido o conceito de referência, trata-se apenas de avaliar se algum outro conceito gerado a partir de determinado requisito técnico apresenta melhoria relativamente a determinado efeito em particular. O conceito de referência, portanto, compõe-se dos requisitos RT34, RT35, RT36, RT37, RT38, RT39, RT40 e RT41 apresentados na tabela 15.

Tabela 15 – Requisitos técnicos definidores do conceito de referência.

Índice	Requisito Técnico
RT34	O projétil deve conter aletas aerodinâmicas articuláveis passíveis de rotação longitudinal e fixadas à granada através de haste conectada a subsistema de propulsão ejetável
RT35	O projétil deve conter aletas aerodinâmicas retráteis fixadas à granada através de haste conectada a subsistema de propulsão ejetável contendo cargas removíveis de propulsão adicional dispostas longitudinalmente ao longo de seu eixo
RT36	O projétil deve conter granada carregada com nitropenta com haste externa contendo carga de propulsão adicional conectada a subsistema de propulsão ejetável
RT37	O projétil deve possuir haste externa contendo espoleta de base com mecanismo de retardo em sua parte interna anterior e carga de propulsão adicional em sua parte interna posterior, esta conectada a subsistema de propulsão ejetável
RT38	O projétil deve conter espoleta de base acionável por ignitor dedicado com mecanismo de retardo inserido em subsistema de propulsão ejetável por carga propelente inversa, sendo esta acionável pelos gases de propulsão através de orifícios radiais, assim como o ignitor
RT39	O subsistema de propulsão ejetável deve conter disco em sua porção anterior com diâmetro externo igual ao calibre da munição e com a superfície externa contendo um par de sulcos paralelos
RT40	O projétil deve conter granada com espoleta em sua parte anterior contendo aleta retrátil promotora do alinhamento do trem explosivo através de sua abertura causada pelo fluxo de ar atmosférico, além de espoleta de base em sua parte posterior com dispositivo pirotécnico de retardo de acionamento composto por carga de transmissão com reduzida taxa de queima
RT41	O subsistema de propulsão deve conter cargas removíveis de propulsão adicional dispostas longitudinalmente ao longo de seu eixo, o qual deve conter internamente dispositivo de propulsão inicial composto por carga de pirotécnica conectada a ignitor de percussão

Fonte: Autor.

Os requisitos dispostos na tabela 15 permitem a definição do conceito de referência como uma munição de morteiro cujo projétil deve conter granada, carregada

com explosivo nitropenta, conectada a espoleta em sua parte anterior contendo aleta retrátil promotora do alinhamento do trem explosivo através de sua abertura causada pelo fluxo de ar atmosférico, bem como conectada a espoleta de base em sua parte posterior com dispositivo pirotécnico de retardo de acionamento composto por carga de transmissão com reduzida taxa de queima. A granada deve ser conectada a haste externa contendo a espoleta de base em sua parte interna anterior e carga de propulsão adicional em sua parte interna posterior, esta conectada a subsistema de propulsão ejetável. A haste externa deve possuir aletas aerodinâmicas retráteis dispostas em sua parte externa e passíveis de rotação longitudinal. O subsistema de propulsão ejetável deve conter disco em sua porção anterior com diâmetro externo igual ao calibre da munição e com a superfície externa contendo um par de sulcos paralelos, além de dispositivo de ejeção acionável por carga propelente inversa e ignitor dedicado com mecanismo de retardo para acionamento da carga de propulsão adicional, sendo que tanto o ignitor quanto o dispositivo de ejeção são acionáveis pelos gases de propulsão através de orifícios radiais. A espoleta de base e o ignitor de propulsão adicional devem possuir dispositivo pirotécnico de retardo composto por carga de transmissão com reduzida taxa de queima para retardar o acionamento, respectivamente, do trem explosivo para a detonação da granada e da carga de propulsão adicional. Por fim, o subsistema de propulsão deve conter cargas removíveis de propulsão adicional dispostas longitudinalmente ao longo de seu eixo, o qual deve conter internamente dispositivo de propulsão inicial composto por carga pirotécnica conectada a ignitor de percussão.

O conceito de referência, construído a partir dos requisitos técnicos dispostos na tabela 15, é contraposto às soluções apresentadas por cada requisito técnico disposto na tabela 7, de forma a comparar a satisfação dos diversos requisitos de usuários por cada solução técnica atinente com a satisfação dos mesmos requisitos de usuário por parte do conceito de referência, conforme a matriz de seleção conceitual apresentada na figura 36. Na matriz, as soluções cuja integração ao conceito de referência resulta em melhor satisfação das demandas correspondentes são identificadas com sinal positivo na cor azul, as soluções cuja integração ao conceito de referência resulta em pior satisfação das demandas correspondentes são identificadas com o sinal negativo na cor

vermelha e as soluções que satisfazem o requisito de usuário de forma equivalente são identificadas com o sinal de igualdade.

	RT 01	RT 02	RT 03	RT 04	RT 05	RT 06	RT 07	RT 08	RT 09	RT 10	RT 11	RT 12	RT 13	RT 14	RT 15	RT 16	RT 17	RT 18	RT 19	RT 20	RT 21	RT 22	RT 23	RT 24	RT 25	RT 26	RT 27	RT 28	RT 29	RT 30	RT 31	RT 32	RT 33
RU01																										+	+						
RU02				+																													
RU03																																	
RU04												+																					
RU05																							+										
RU06												=																					
RU07	+																																
RU08		=			+	+	+	+	=	=				+	=	-	+	-	=	+	-		-	+									-
RU09			=																														-
RU10										=						-	+	-		+			-										
RU11													-														-		=				
RU12																													=				

Figura 36 – Matriz de seleção conceitual.
Fonte: Autor.

A matriz de seleção conceitual apresentada na figura 36 permite identificar 12 sinais de igualdade, que correspondem aos casos em que a satisfação da demanda do usuário pelo requisito técnico é equivalente àquela proporcionada pelo conceito de referência. Os requisitos técnicos RT02, RT03, RT09, RT10, RT11, RT15, RT19, RT28 e RT29 correspondem aos sinais de igualdade identificados na matriz e constituem soluções conceituais equivalentes ao conceito de referência porque estão consubstanciados nas soluções propostas para a eliminação das contradições técnicas, isto é, são abarcados pelos requisitos técnicos RT34, RT35, RT36, RT37, RT38, RT39, RT40 e RT41, os quais são definidores do conceito de referência.

Os sinais positivos na matriz de seleção conceitual representam os casos em que a satisfação da demanda do usuário promovida pela integração do requisito técnico ao conceito de referência é maior do que a proporcionada pelo próprio conceito de referência. Assim, os requisitos técnicos RT01, RT04, RT05, RT06, RT07, RT08, RT12, RT14, RT17, RT20, RT22, RT24, RT25, RT26 e RT30 representam soluções conceituais que devem ser agregadas ao conceito de referência para a geração do conceito de produto.

Apesar de o requisito RT01 atender a demanda de usuário consubstanciada no requisito RU07, a baixa relevância atribuída pelos usuários a tal demanda não justifica a inserção do requisito para efeito de composição do conceito final de produto em função do aumento de complexidade a ele associado.

A inclusão dos requisitos RT06, RT07, RT08 e RT24 é necessária pois, apesar de terem ensejado o estabelecimento do requisito RT41, este apenas provê uma solução técnica que possibilita a conjugação entre as cargas removíveis de propulsão adicional e a carga de propulsão inicial, mas não especifica as características dos elementos de propulsão inicial, as quais estão definidas nos quatro requisitos acima.

O requisito RT14 deve ser adaptado para as aletas de estabilização aerodinâmica e a haste que as suporta, de forma que tais componentes devem ser feitos de liga metálica leve. Não há necessidade de o suporte do subsistema de propulsão ser de liga metálica leve, uma vez que este é separado do projétil no momento do disparo, não contribuindo, portanto, com o aumento da massa do projétil.

Os sinais negativos na matriz de seleção conceitual representam os casos em que a satisfação da demanda do usuário promovida pela integração do requisito técnico ao conceito de referência é menor do que a proporcionada pelo próprio conceito de referência. Assim, os requisitos técnicos RT13, RT16, RT18, RT21, RT23, RT27, RT31, RT32 e RT33 representam soluções conceituais que não devem ser agregadas ao conceito de referência para a geração do conceito final de produto.

Os requisitos RT13 e RT27 atendem à demanda de letalidade, mas não representam melhoria que ensejasse a sua inserção quando comparados ao conceito de referência no que diz respeito à capacidade de fragmentação da granada através da detonação da carga de arrebentamento de nitropenta, além de aumentarem significativamente a complexidade do sistema e dos seus requisitos de fabricação.

O requisito RT16 apresenta soluções de retenção de gases e de rotação das aletas de estabilização, as quais já estão consubstanciadas no conceito de referência. A solução de retenção de gases do requisito RT16 prevê a existência de um componente separado a ser ejetado do projétil no momento do disparo, o que aumenta de forma significativa a complexidade do sistema quando comparado à solução apresentada pelo conceito de referência. Já a solução de rotação das aletas prevista no conceito de referência possibilita um maior raio de extensão das aletas de estabilização quando abertas, garantindo maior estabilidade.

O requisito RT18 apresenta uma solução que visa o aumento da precisão e do alcance através da redução do ângulo de ogiva do projétil. A solução proposta reduz a perda de energia cinética em função do aumento da precisão, mas demanda, para um

mesmo calibre, aumento considerável do comprimento da munição e, conseqüentemente, da sua massa, o que acaba por reduzir a eficiência energética de propulsão e o próprio alcance do tiro. Assim, a solução prevista não representa qualquer melhoria que ensejasse a sua inserção quando comparados ao conceito de referência. Além disso, o aumento do comprimento da munição acarreta um problema de ordem prática no que diz respeito ao seu manuseio, uma vez que a existência do subsistema de propulsão ejetável e da haste contendo as aletas e a carga de propulsão adicional já contribuem para o aumento do comprimento total da munição.

O requisito RT21 apresenta uma solução que visa o aumento do alcance através da retenção dos gases de propulsão por saia anular metálica localizada na base da granada. Esta solução é inferior à solução de retenção de gases já consubstanciada no conceito de referência, pois esta proporciona a retenção dos gases de propulsão pelo próprio suporte do subsistema de propulsão, enquanto o requisito RT21 acaba por aumentar a massa e a complexidade do projétil. Além disso, o diâmetro da saia anular deve ser adequadamente menor do que o diâmetro do tubo para que a sua expansão provocada pelos gases não provoque o seu atrito com a parede do tubo, o que representaria efeito deletério na eficiência energética de propulsão.

O requisito RT23 apresenta uma configuração geométrica específica da empena que acarreta em substancial aumento de complexidade do sistema e de seus requisitos de fabricação, sem proporcionar nenhum ganho significativo nas demandas de precisão e alcance do tiro. Nesse sentido, o requisito RT23 se difere do requisito RT20, pois este, apesar de proporcionar ganho pouco expressivo para as demandas de precisão e alcance do tiro, não representa aumento significativo de complexidade do sistema e de seus requisitos de fabricação.

Os requisitos RT31 e RT32 foram excluídos quando da eliminação das contradições técnicas, uma vez que as soluções propostas estabelecem soluções alternativas a tais requisitos, respectivamente dispostas nos requisitos RT40 e RT41.

O requisito RT33 apresenta uma solução técnica inferior às soluções dispostas pelos requisitos RT06, RT07, RT08 e RT24, que possibilitam uma quantidade maior de carga propelente para um mesmo volume do cartucho de propulsão inicial.

Com base nas considerações técnicas apresentadas, os requisitos técnicos RT04, RT05, RT06, RT07, RT08, RT12, RT14, RT17, RT20, RT22, RT24, RT25, RT26 e RT30, os

quais foram identificados pela matriz de seleção conceitual, podem ser agregados ao conceito de referência, concebido pelos requisitos técnicos RT34, RT35, RT36, RT37, RT38, RT39, RT40 e RT41, os quais gerados através da eliminação das contradições técnicas, de forma a subsidiar a concepção do conceito de produto. A tabela 16 apresenta os requisitos técnicos utilizados na concepção do conceito de produto.

Tabela 16 – Requisitos técnicos definidores do conceito de produto.

Índice	Requisito Técnico
RT04	Os invólucros das cargas de propulsão adicional devem ser cobertas por filme impermeável de nitrocelulose
RT05	As cargas de propulsão devem conter pó de piroxilina modificada com baixa dependência da taxa de combustão com relação à pressão
RT06	A carga de propulsão inicial deve estar contida em cartucho cilíndrico com razão entre comprimento e diâmetro de 5,5/6,5
RT07	O cartucho de propulsão inicial deve estar inserido em tubo metálico com razão entre perfuração e superfície de 0,030/0,035
RT08	O cartucho de propulsão inicial deve conter ignitor com pólvora negra na razão de 5,0/5,5% em peso com relação à carga de propulsão inicial
RT12	A granada deve conter saliências em sua superfície interior que evitem a movimentação da carga de arrebentamento
RT14	A empena deve ser feita de liga metálica leve
RT17	O projétil deve possuir um par diametralmente oposto de aletas laterais localizado na parte posterior do corpo da granada além das aletas de estabilização contidas na empena
RT20	A empena deve possuir aletas de estabilização com entalhes em sua parte anterior de forma a apresentarem aresta radial oblíqua e aresta axial paralela em relação ao eixo longitudinal da munição para deflexão do ar contra as faces laterais das aletas
RT22	A espoleta deve conter mecanismo de retardo ajustado por chave externa
RT24	O cartucho de propulsão inicial deve ser constituído de tubo contendo a carga propelente com a extremidade superior fechada e a extremidade inferior conectada à base contendo o ignitor sendo ambas as partes de polímero sintético
RT25	O cartucho de propulsão inicial deve ser constituído de tubo contendo a carga propelente com a extremidade superior fechada e a extremidade inferior conectada à base contendo o ignitor através de sulcos e saliências
RT26	O cartucho de propulsão inicial deve ser fixado no interior do tubo axial da empena através de flange polimérica deformável

Índice	Requisito Técnico
RT30	A espoleta deve conter trem explosivo constituído por sequência de explosivos com sensibilidade decrescente até a carga de arrebetamento com variação de densidade de 1,2 a 1,7 g/cm ³
RT34	O projétil deve conter aletas aerodinâmicas articuláveis passíveis de rotação longitudinal e fixadas à granada através de haste conectada a subsistema de propulsão ejetável
RT35	O projétil deve conter aletas aerodinâmicas retráteis fixadas à granada através de haste conectada a subsistema de propulsão ejetável contendo cargas removíveis de propulsão adicional dispostas longitudinalmente ao longo de seu eixo
RT36	O projétil deve conter granada carregada com nitropenta com haste externa contendo carga de propulsão adicional conectada a subsistema de propulsão ejetável
RT37	O projétil deve possuir haste externa contendo espoleta de base com mecanismo de retardo em sua parte interna anterior e carga de propulsão adicional em sua parte interna posterior, esta conectada a subsistema de propulsão ejetável
RT38	O projétil deve conter espoleta de base acionável por ignitor dedicado com mecanismo de retardo inserido em subsistema de propulsão ejetável por carga propelente inversa, sendo esta acionável pelos gases de propulsão através de orifícios radiais, assim como o ignitor
RT39	O subsistema de propulsão ejetável deve conter disco em sua porção anterior com diâmetro externo igual ao calibre da munição e com a superfície externa contendo um par de sulcos paralelos
RT40	O projétil deve conter granada com espoleta em sua parte anterior contendo aleta retrátil promotora do alinhamento do trem explosivo através de sua abertura causada pelo fluxo de ar atmosférico, além de espoleta de base em sua parte posterior com dispositivo pirotécnico de retardo de acionamento composto por carga de transmissão com reduzida taxa de queima
RT41	O subsistema de propulsão deve conter cargas removíveis de propulsão adicional dispostas longitudinalmente ao longo de seu eixo, o qual deve conter internamente dispositivo de propulsão inicial composto por carga de pirotécnica conectada a ignitor de percussão

Fonte: Autor.

A figura 37 apresenta a vista interna do conceito de munição de morteiro desenvolvido, com destaques específicos para as espoletas e o dispositivo de ejeção.

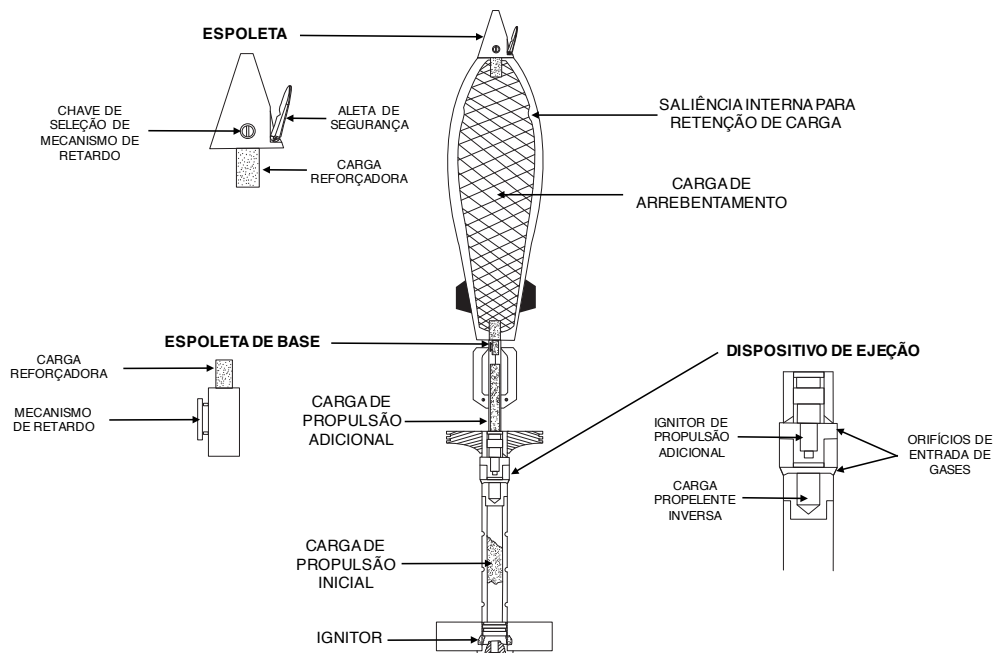


Figura 37 – Vista interna do conceito de munição de morteiro.

Fonte: Autor.

A figura 38 apresenta a vista externa do conceito de munição de morteiro desenvolvido, com destaque específico para as aletas retráteis.

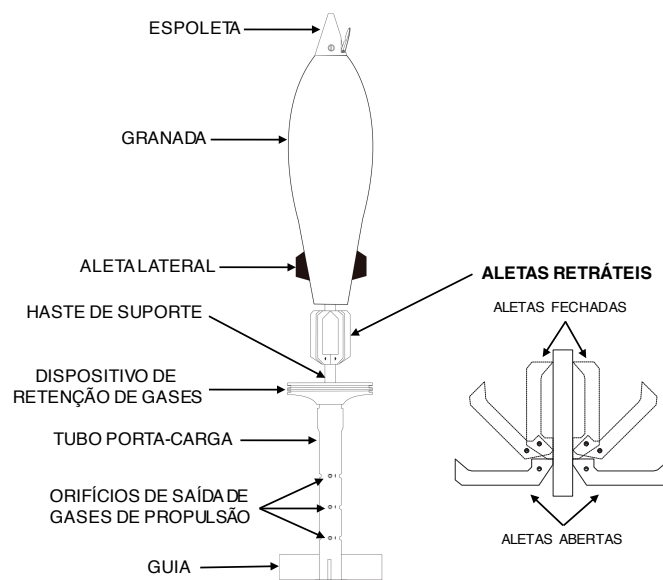


Figura 38 – Vista externa do conceito de munição de morteiro.

Fonte: Autor.

De acordo com a configuração do sistema apresentada, o ignitor recebe a ação externa decorrente da percussão no momento do disparo e aciona a carga de propulsão inicial, causando a saída dos gases de propulsão através dos orifícios. Neste instante, os invólucros de propulsão adicional, caso tenham sido inseridos por decisão do operador do sistema, provoca o incremento da capacidade do subsistema de propulsão através de deflagração própria. Os gases de propulsão entram pelos orifícios existentes no dispositivo de ejeção e acionam a carga propelente inversa para a ejeção do subsistema de propulsão, bem como o ignitor da carga de propulsão adicional. O dispositivo de retenção de gases aumenta o aproveitamento dos gases de propulsão através da retenção destes por sulcos superficiais. Após a saída do projétil, já sem o subsistema de propulsão, as aletas retráteis são abertas pela ação do fluxo de ar atmosférico, assim como a aleta de segurança constante da espoleta, causando o alinhamento do trem explosivo e, portanto, deixando o sistema de detonação pronto para ser acionado através de impacto. Ainda, ao final da deflagração da carga de propulsão adicional, durante a trajetória do tiro, a espoleta de base é acionada através do mecanismo de retardo que atrasa a detonação da carga reforçadora e, conseqüentemente, da carga de arrebentamento, de forma a garantir a detonação da granada caso a espoleta localizada na ogiva não funcione corretamente. Por fim, a espoleta principal possui também chave de seleção de mecanismo de retardo, caso o operador do sistema deseje que a detonação ocorra em determinado período de tempo após o impacto.

7. Discussão de Resultados

A extração de requisitos a partir dos documentos de registro de patente possibilitou o desenvolvimento de um conceito de munição de morteiro capaz de conjugar soluções relativas a diversas demandas do produto. Neste contexto, 23 requisitos técnicos de produto foram, direta ou indiretamente, internalizados no conceito de munição de morteiro desenvolvido, de um total de 33 requisitos técnicos identificados. A demanda por alcance é atendida por 13 requisitos técnicos de produto, o que revela a importância tática de sistemas que representem aumento da área de cobertura de tiro e, conseqüentemente, a importância técnica de soluções que implementem tal efeito. Destes, 3 requisitos satisfazem também a demanda de precisão, o que mostra que, apesar de se tratar de uma arma que efetua tiro indireto, tal demanda é relevante no âmbito do emprego tático do morteiro. Da mesma forma, os 5 requisitos que visam o aumento da eficácia do tiro, ou seja, que implementam soluções relativas à detonação ou integridade das cargas de propulsão, evidenciam a preocupação com eventuais falhas do sistema. Ainda, 2 requisitos satisfazem a demanda de segurança através de soluções que evitam a detonação prematura da granada, seja esta antes ou após o disparo, enquanto as demandas de letalidade, variação de alcance, detonação retardada e emprego contra blindagem balística são atendidas por 1 requisito cada.

A identificação de soluções a partir de documentos de registro de patente constitui a essência da capacidade prospectiva da TRIZ e, por decorrência, tal capacidade fundamenta a extração de requisitos a partir de documentos de registro de patente como ferramenta de identificação de soluções cuja integração é capaz de promover a evolução do sistema tecnológico. A assertiva é evidenciada pelas características do produto concebido que refletem a atuação das leis de evolução tecnológica. Neste contexto, o **aumento da idealidade** é evidenciado pelo aumento da satisfação às diferentes demandas de utilização do sistema através da integração dos requisitos correspondentes, o que aumenta a sua funcionalidade. Como exemplo, o aumento do atendimento à demanda por alcance da munição é expresso por um número significativo de requisitos integrados no conceito de produto obtido. O **desenvolvimento não uniforme das partes**, por sua vez, é evidenciado pela discrepância

entre a quantidade de requisitos atinentes a demandas como o alcance e a quantidade de requisitos atinentes a outras demandas relevantes como a letalidade. No caso da lei de **aumento de complexidade seguido de simplificação**, a integração do requisito de propulsão adicional representa um significativo aumento de funcionalidade, mas também um expressivo aumento de complexidade do sistema, a qual foi reduzida com a integração da solução de ejeção do subsistema de propulsão. Ainda, a integração da solução de variação de alcance através de cargas removíveis de propulsão adicional e da solução de chaveamento para o acionamento de mecanismo de retardo, internalizada no conceito de produto, reflete a atuação da lei de **aumento do dinamismo, flexibilidade e controlabilidade**, uma vez que aumenta a capacidade de resposta do sistema às alterações de demanda por parte do usuário. Sobre isso, cabe destacar que, apesar de as referidas soluções já serem previamente passíveis de implementação, o aumento do dinamismo, flexibilidade e controlabilidade ocorre precisamente em função da integração de ambas em um mesmo sistema, de forma a permitir maior liberdade de customização operacional por parte do usuário do sistema. Além disso, o aumento de flexibilidade pode ser constatado no subsistema de estabilização aerodinâmica composto de aletas retráteis que perfazem, quando abertas, um diâmetro maior do que o próprio calibre da munição. Já a lei de **aumento de segmentação e uso de campos** pode ser verificada na capacidade de ejeção do subsistema de propulsão, que é separado do projétil após o disparo através do aproveitamento da ação dos gases resultantes da deflagração da carga propelente. Por fim, a lei de **combinação das partes** está consubstanciada tanto nas soluções inventivas derivadas da aplicação dos princípios, quanto na própria integração das soluções apresentadas pelos requisitos no conceito final de produto.

A Casa da Qualidade consiste em uma necessária ferramenta de representação gráfica que possibilitou a apresentação do grau de relevância de cada demanda por parte dos usuários, das correlações entre ambos os conjuntos de requisitos e, principalmente, a identificação das interações entre os requisitos técnicos de produto. No entanto, a implementação da Matriz de Contradição da TRIZ superou a principal desvantagem do método QFD no que tange aos conflitos advindos da integração das diversas funcionalidades prescritas pelos requisitos técnicos, uma vez que a proposição de soluções inventivas propiciou a eliminação de conflitos advindos de contradição

técnica. Ao eliminar a necessidade de solução de compromisso entre requisitos técnicos de produto, o modelo possibilitou a satisfação plena das demandas de emprego do sistema, de forma que a avaliação qualitativa realizada pelo usuário passou a ter caráter secundário. Dito de outra forma, a relevância da avaliação das demandas por parte do usuário foi reduzida através da superação das contradições técnicas, uma vez que tais demandas passaram a ser plenamente satisfeitas e, portanto, não se mostraram necessárias para efeito do estabelecimento de eventuais soluções de compromisso, ou seja, não houve a necessidade do estabelecimento de soluções de compromisso que privilegiasse determinados requisitos em função das demandas por eles atendidas serem mais relevantes para o usuário. Entretanto, as relevâncias atribuídas aos requisitos pelos usuários foram utilizadas no âmbito da definição conceitual de forma a eliminar as soluções que atendem a demandas pouco relevantes, como ocorreu, no caso em tela, com a necessidade de identificação visual da trajetória do tiro, que representa um aumento de complexidade desnecessário em face da reduzida relevância da demanda para o usuário.

A utilização dos princípios inventivos se mostrou eficaz na eliminação das contradições técnicas, uma vez os requisitos técnicos derivados propiciaram a integração sistêmica, no âmbito do conceito de referência, das soluções apresentadas pelos requisitos técnicos originais cujas interações foram identificadas como negativas e contraditórias. Ainda, a matriz de seleção conceitual permitiu a integração dos demais requisitos técnicos originais capazes de agregar valor ao conceito final de produto, isto é, capazes de aumentar a robustez do conceito de munição de morteiro obtido, tendo sido excluídos apenas os requisitos técnicos originais cuja internalização não se mostrou factível face à configuração do sistema em questão e cujas demandas tenham sido atendidas por outras soluções. Dessa forma, a concepção final do produto demandou a avaliação acerca da conveniência da internalização de determinado conjunto de requisitos, mas sem a necessidade de qualquer solução de compromisso, de forma a maximizar o atendimento das diversas demandas dos usuários.

8. Conclusões

O modelo de otimização sistemática de requisitos de engenharia calcado na integração dos métodos QFD e TRIZ permitiu o aproveitamento das vantagens de cada abordagem de forma a reduzir a aleatoriedade do desenvolvimento conceitual de um novo produto. Essa característica do modelo proposto é importante na medida em que o caráter subjetivo do processo inventivo pode provocar decisões erráticas que venham a excluir requisitos essenciais para o produto em desenvolvimento. Trata-se, portanto, de uma abordagem integrada que visa reduzir o viés subjetivo decorrente da experiência individual do desenvolvedor, mas não, obviamente, eliminá-lo por completo, uma vez que tal viés é inerente a toda e qualquer atividade humana. De fato, decisões eminentemente subjetivas foram necessárias para a valoração das correlações entre os requisitos técnicos e os requisitos de usuário, uma vez que, apesar de tecnicamente justificada, tal valoração está restrita aos níveis de avaliação qualitativa ordinal que indicam o grau de satisfação de uma demanda de usuário por determinado requisito técnico de produto correspondente. No entanto, a sistematização do modelo está essencialmente fundamentada em etapas que demandam decisões calcadas em critérios objetivos, como a delimitação terminológica do sistema para a recuperação de documentos de registro de patente, a submissão dos requisitos à avaliação do usuário e a utilização dos princípios inventivos para a solução de contradições técnicas.

A objetividade do modelo proposto é notória já no primeiro nível de integração, no qual os requisitos são selecionados a partir de um conjunto de documentos de registro de patentes delimitado em função das características do sistema a ser desenvolvido. Dessa forma, o desenvolvedor não se encontra adstrito a um conjunto de requisitos obtidos a partir de especificações técnicas preexistentes na organização ou mesmo sugeridos por um grupo limitado de pessoas, sejam elas usuários ou especialistas. Sobre isso, deve-se ressaltar a ausência, na literatura consultada, de exemplos de integração entre QFD e TRIZ que conjuguem ambas as abordagens da TRIZ com o QFD, isto é, que busquem não apenas a solução das contradições entre requisitos técnicos, mas também a identificação desses mesmos requisitos a partir das tendências gerais de evolução tecnológica consubstanciadas em documentos de registro de patente. Ao contrário, os exemplos de integração verificados tratam de solucionar as

contradições entre requisitos técnicos obtidos a partir de um conjunto de requisitos de usuário já existentes. Em que pese a importância da participação do usuário no processo de desenvolvimento de produtos, a sugestão de requisitos de usuário por parte deste, de forma a gerar um conjunto de requisitos técnicos de produto, está limitado pela extensão da amostra de usuários passível de ser consultada, bem como por outros fatores como a familiaridade do usuário com o sistema em questão. Há o risco, portanto, de direcionamento do desenvolvimento para uma parcela específica de clientes. De forma similar, a sugestão direta de requisitos técnicos de produto por parte de especialistas está, naturalmente, adstrita à experiência e ao conhecimento dos especialistas. Ambas as abordagens requerem a participação de quantidade significativa de pessoas e, ainda assim, podem conferir um alto grau de subjetividade ao processo de desenvolvimento de produtos. Por fim, mesmo a utilização de requisitos técnicos obtidos por especificações técnicas relativas a diferentes produtos da própria organização restringe a busca de soluções ao vetor inércia, tal como definido por Altshuller. Dessa forma, a extração de requisitos a partir de documentos de registro de patente elimina os vieses inerentes às abordagens descritas, de forma a permitir a prospecção de soluções obtidas por um grande número de pessoas em diferentes momentos e locais, aumentando a objetividade do processo de inovação.

Ainda no âmbito do primeiro nível de integração do modelo proposto, a função precípua do QFD consiste em propiciar a participação do usuário no desenvolvimento conceitual de um novo produto através da submissão dos requisitos prospectados sua à avaliação. Em seguida, a valoração dos requisitos de usuário permite a valoração indireta da relevância dos próprios requisitos técnicos de produto através dos valores numéricos que os correlacionam aos requisitos diretamente avaliados, de forma a identificar quais as características técnicas são mais importantes para a satisfação das demandas dos usuários. Via de regra, tal informação é de extrema relevância no contexto da ferramenta matricial que permite a identificação das interações entre requisitos técnicos, uma vez que as interações negativas requerem a informação da relevância que cada requisito técnico possui para o usuário para viabilizar a integração sistêmica dos requisitos, muitas vezes através da solução de compromisso na qual o requisito mais relevante é privilegiado. No entanto, ao aplicar as ferramentas da TRIZ para a solução de contradições técnicas no âmbito do segundo nível de integração, o

modelo proposto acaba por atender plenamente as demandas dos usuários, de forma que a opção pela satisfação das demandas de mercado pelo produto passa a não mais considerar critérios técnicos, mas sim critérios estritamente comerciais. Assim, a exclusão de determinada característica do produto não precisa ser feita por incompatibilidade técnica, mas simplesmente por não justificar o aumento do custo a ela associado face uma reduzida perspectiva de retorno financeiro.

O caráter objetivo do modelo de otimização sistemática de requisitos de engenharia, portanto, está ancorado no tripé constituído pelas seguintes ações: **delimitação terminológica do sistema** no âmbito da estratégia de busca de documentos de registro de patente; **valoração dos requisitos** pelos usuários juntamente com o estabelecimento das correlações entre ambos os conjuntos de requisitos; e **implementação da Matriz de Contradição** para a eliminação das contradições técnicas. Há, no entanto, nítidas oportunidades de expansão do modelo que podem ensejar trabalhos futuros. No contexto da extração de requisitos a partir de documentos de registro de patente, a adoção de critérios lógicos de levantamento de requisitos pode viabilizar o aumento da quantidade de documentos pesquisados e, por conseguinte, da própria robustez do conceito de produto gerado ao internalizar uma maior quantidade de requisitos. Ainda, além da identificação dos requisitos técnicos de produto, a utilização dos demais desdobramentos do QFD possibilita a identificação dos requisitos técnicos de projeto, processo e operação, abarcando o processo de desenvolvimento de produtos de forma ampla.

Por fim, o modelo proposto viabilizou a concepção de um produto inovador, uma vez que a solução de contradições técnicas demandou o estabelecimento de requisitos técnicos novos que, ainda que derivados dos requisitos técnicos originais, constituem soluções técnicas inteiramente novas, as quais só puderam ser obtidas através dos princípios inventivos utilizados. Além disso, o produto concebido é potencialmente satisfatório, uma vez que atende de forma plena as demandas de utilização consideradas. Assim, o modelo proposto é aplicável ao desenvolvimento conceitual de produtos de uma forma geral, constituindo uma ferramenta útil ao processo de inovação. Entretanto, tal modelo consiste em uma ferramenta de caráter heurístico que combina etapas lógicas e intuitivas, não sendo, portanto, passível de implementação computacional. Isso porque a aplicação dos princípios e subprincípios inventivos requer

a concepção da solução mais simples e direta para o problema, ainda que esta implique em uma alteração significativa na configuração original do sistema. Trata-se, portanto, da sistematização da atividade inventiva por excelência.

Referências Bibliográficas

AFFARSVERKET FFV (Suécia); PETTERSSON, R. T. (Suécia); EDLUND, H. G. U. (Suécia); REGEBO, B. I. C. (Suécia). **Mortar ammunition**. Int CI F42B15/36; F42B30/10; F42B15/00. US 4.611.540. 7 fev. 1984, 16 set. 1986. United States Patent and Trademark Office (USPTO).

AHMED, S.; AMAGOH, F. “Application of QFD in product development of a glass manufacturing company in Kazakhstan”. **Benchmarking: An International Journal**, v. 17, n. 2, pp. 195-213, 2010.

AKTIESELSKABET, W. (Dinamarca). **Improvements in or relating to projectiles for smooth-bore mortars**. Int CI F42B10/06. GB 703.410 (A). 6 nov. 1950, 3 fev. 1954. The Patent Office – London.

AKTSIONERNOE OBSHCHESTVO TSENTRAL NYJ NII TOCHNOGO MASH (Rússia); BUSOV, V. A. (Rússia); BARANOV, V. V. E. (Rússia); FILIPPOV, J. M. (Rússia); KUZNETSOV, S. V. E. (Rússia). **MORTAR ROUND**. Int CI F42B10/14. RU 2.564.781 (C1). 11 jul. 2014, 10 out. 2015. Federal Service for Intellectual Property – Russian Federation.

ALTSHULLER, G. **40 Principles Extended Edition: TRIZ Keys to Technical Innovation**. Worcester, Technical Innovation Center, 2005.

ALTSHULLER, G. **And Suddenly the Inventor Appeared: TRIZ, the Theory of Inventive Problem Solving**. Worcester, Technical Innovation Center, 2004.

ALTSHULLER, G. **The Innovation Algorithm: TRIZ, systematic innovation and technical creativity**. Worcester, Technical Innovation Center, 2007.

AMARANTE, J. C. A. “A Base Industrial de Defesa Brasileira”. **Texto para Discussão - IPEA** – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Rio de Janeiro, n. 1758, ago., 2012. Disponível em <http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/1091/1/TD_1758.pdf>. Acesso em 01 Set. 2015.

BAUMS, O. (Alemanha). **Mortar grenade**. Int CI F42B12/06; F42B30/10; (IPC1-7): F42B13/22. DE 3.310.633 (A1). 24 mar. 1983, 27 set. 1984. Deutsches Patentamt – Bundesrepublik Deutschland.

BRAD, S.; MOCAN, B.; BRAD, E.; FULEA, M. “TRIZ to support blue-design of products”. **TRIZ Future Conference**, n. 39, Berlin, 2015.

CARVALHO, M. A. **Metodologia IDEATRIZ para a ideação de novos produtos**. Tese de D. Sc., Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/89798/248368.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 05 de jun. 2016.

CAUCHICK MIGUEL, P. A. “QFD no desenvolvimento de novos produtos: um estudo sobre a sua introdução em uma empresa adotando a pesquisa-ação como abordagem metodológica”. **Produção**, v. 19, n. 1, pp. 105-128, 2009.

CAUCHICK MIGUEL, P. A.; SOUSA, R. “O Método de Estudo de Caso na Engenharia de Produção”. In: CAUCHICK MIGUEL, P. A. (Coord.). **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações**. 2 ed., capítulo 6, Rio de Janeiro, Elsevier: ABEPRO, 2012.

CAUCHICK MIGUEL, P. A.; LEE HO, L. “Levantamento tipo Survey”. In: CAUCHICK MIGUEL, P. A. (Coord.). **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações**. 2 ed., capítulo 5, Rio de Janeiro, Elsevier: ABEPRO, 2012.

CHENG, L. C.; MELO FILHO, L. D. R. **QFD: Desdobramento da Função Qualidade na Gestão de Desenvolvimento de Produto**. São Paulo, Blucher, 2007.

CLAUSING, D. **Total Quality Development: a step by step guide to world-class concurrent engineering**. New York, Asme Press, 1994.

CLAUSING, D.; FEY, V. **Effective Innovation: The Development of Winning Technologies**. New York, Asme Press, 2004.

DIEHL GMBH & CO (Alemanha). KERK, S. (Alemanha); RIEGER, G. (Alemanha). **Cover for projectile i.e. large calibrated ammunition of mortar shell, has pre-fragmentation unit to produce splinter, where linear structural change of defined depth of material of cover reduces tensile strength in zone upto certain depth**. Int CI F42B12/24. DE 102.008.005.098 (A1). 18 jan. 2008, 23 jul. 2009. Deutsches Patent und Markenamt – Bundesrepublik Deutschland.

DIEHL GMBH & CO (Alemanha). RUEDENAUER, W. (Alemanha); SOERGEL W. (Alemanha); KAISER H. (Alemanha). **Impact fuze**. Int CI F42C1/06; F42C19/00; F42C1/06. DE 3.620.784 (A1). 20 jun. 1986, 23 dez. 1987. Deutsches Patentamt – Bundesrepublik Deutschland.

DIEHL GMBH & CO (Alemanha). WEBER A. (Alemanha). **Munição, particularmente munição de morteiro**. Int CI F42B12/14; F42B12/32; F42B13/10; F42B13/18; F42B13/22. EP 0.180.734 (A2). 8 set. 1984, 14 mai. 1986, 18 jan. 2008. European Patent Office (EPO).

DYNAMIT NOBEL AG (Alemanha). **Improvements in or relating to a propellant cartridge for projectiles fired from a mortar**. Int CI F42B5/313. GB 1.097.931 (A). 7 jan. 1965, 3 jan. 1968. The Patent Office – London.

FLEURY, A. “Planejamento do Projeto de Pesquisa e Definição do Modelo Teórico”. In: CAUCHICK MIGUEL, P. A. (Coord.). **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações**. 2 ed., capítulo 2, Rio de Janeiro, Elsevier: ABEPRO, 2012.

FKP GOSNIIKH (Rússia); GULITSKIJ, E. G. (Rússia); FROLOV, V. J. (Rússia); MUKHAMETLATYPOVA R. I. (Rússia); CHISTJUKHIN, V. N. (Rússia); IGNAT'EV, G. V.; MIKHAJLOV, J. M. (Rússia). **PROPELLANT CHARGE OF MORTAR ROUND**. Int CI F42B1/00. RU 2.010.130.647 (A). 27 jan. 2012. Federal Service for Intellectual Property – Russian Federation.

FKP GOSNIIKH (Rússia); GULITSKIJ, E. G. (Rússia); MUKHAMETLATYPOVA, R. I. (Rússia); ALADZHEVA, G. L. (Rússia); IGNATEV, G. V. (Rússia); ZIJATDINOVA, J. S. (Rússia); CHISTJUKHIN, V. N. (Rússia); SABITOVA, F. F. (Rússia); GATINA, R. F. (Rússia); MIKHAJLOV, J. M. (Rússia). **COMMON FULL ADJUSTABLE CHARGE FOR 82-mm MORTAR ROUND**. Int CI F42B30/12; F42B5/16. RU 2.015.102.886 (A). 21 mai. 2015, 10 nov. 2016. Federal Service for Intellectual Property – Russian Federation.

FKP GOSNIIKH (Rússia); IGNATEV, G. V. (Rússia); PESHKOV, L. A. (Rússia); GULITSKIJ, E. G. (Rússia); MUKHAMETLATYPOVA, R. I. (Rússia); ANDREEVA, N. G. (Rússia); ASTAKHOV, S. V. (Rússia); CHISTYUKHIN, V. N. (Rússia); KOROBKOVA, E. F. (Rússia); AKHMETSHINA, G. R. (Rússia); GATINA, R. F. (Rússia); MIKHAJLOV, Y. M. (Rússia). **MORTAR ROUND PROPELLANT CHARGE**. Int CI F42B5/16. RU 2.601.662 (C1). 28 jan. 2015, 8 ago. 2016. Federal Service for Intellectual Property – Russian Federation.

GADD, K. **TRIZ for Engineers: Enabling Inventive Problem Solving**. Chichester, John Wiley & Sons, 2011.

GUIA DE OPERAÇÕES MILITARES: MORTEIROS. Disponível em: <<http://operacoesmilitaresguia.blogspot.com.br/2012/02/morteiros.html>>. Acesso em 04 de jun. 2016.

HANS, O. D. (Finlândia). **Improvements in or relating to projectiles for mortars**. Int CI F42B14/06; F42B30/10. GB 737.349 (A). 11 ago. 1953, 21 set. 1955. The Patent Office – London.

HANS, O. D. (Finlândia). **Improvements in or relating to mortar projectiles**. Int CI F42B14/06. GB 737.348 (A). 11 ago. 1953, 21 set. 1955. The Patent Office – London.

HANS, O. D. (Finlândia). **Improvements in or relating to mortar projectiles provided with glide fins**. Int CI F42B10/06. GB 742.841 (A). 11 ago. 1953, 4 jan. 1956. The Patent Office – London.

HANS, O. D. (Finlândia). **Improvements in or relating to mortar projectiles**. Int CI F42B30/10. GB 741.195 (A). 11 ago. 1953, 30 nov. 1955. The Patent Office – London.

HANS, O. D. (Finlândia). **Improvements in or relating to mortar projectiles**. Int CI F42B10/06. GB 864.647 (A). 23 mai. 1958, 6 abr. 1961. The Patent Office – London.

HARI, A.; KASSER, J. E.; WEISS, M. P. “How lessons learned from using QFD led to the evolution of a process for creating quality”. **Systems Engineering**, v. 10, n. 1, 2007.

HOLGE, G. R. (Alemanha). **Improvements in or relating to cartridges for projectiles.** Int CI F42B5/38. GB 770.098 (A). 13 mar. 1957. The Patent Office – London.

HOTCHKISS, B. (França). **Improvements in or relating to an ejectable support for the propellant launching charge of a projectile which is loaded through the muzzle of the launching means.** Int CI F42B5/10. GB 968.130 (A). 30 mai. 1962, 26 ago. 1964. The Patent Office – London.

JUNGHANS GEB AG (Alemanha); KAISER, P. (Alemanha); MULLER, J. (Alemanha). **Percussion fuze with or without delay mechanism for unrotated projectiles, more especially mortar bombs.** Int CI F42C1/08; F42C14/00; F42C15/188; F42C15/24. GB 944.164 (A). 11 dez. 1963. The Patent Office – London.

KORENKOV, V. V. (Rússia); SMELIKOV, V. G. (Rússia); FEDOROV, V. N. (Rússia); KISELEV, V. A. (Rússia); SLAEV, V. K. (Rússia); VOLZHIN, K. V. (Rússia). **SMALL-SIZED IMPACT FUSE.** Int CI F42C1/04; F42C1/04. RU 2.003.120.359 (A). 20 jan. 2005. Federal Service for Intellectual Property – Russian Federation.

LABOURIAU, F. C. **Uma proposta de modelo para o mapeamento do padrão evolutivo: uma ferramenta de suporte ao desenvolvimento de produtos.** Tese de D. Sc., Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <https://minerva.ufrrj.br/F/BBM5Q9MD3QA19I9I39C1DNK125KI1NDTDMJ5U6NPNYBN3LQJ2U06075?func=findb&find_code=WRD&request=LABOURIAU&local_base=UFR01&x=58&y=0>. Acesso em 05 de jun. 2016.

LEE, R. G. **Introduction to battlefield weapons systems and technology.** 2 ed. London, Brassey's Defence Publishers, 1985.

LEITE, S. L.; SILVA, C. H. "Otimização de expressão para busca de patentes: estudo de caso sobre diagnóstico de malária". **Revista Eletrônica de Comunicação, Informação e Inovação em Saúde**, v. 7, n. 3, 2013.

LEWIS, M. (Reino Unido). **Improvements in or relating to ammunition for ordnance of the trench mortar or howitzer.** Int CI F42B14/02. GB 541.274 (A). 3 jun. 1940, 20 nov. 1941. The Patent Office – London.

LOPES, I. L. "Estratégia de busca na recuperação da informação: revisão da literatura". **Revista Ciência da Informação**, v. 31, n. 2, pp. 60-71, 2002.

MAICON, G. O.; JONATHAN, S. F.; FLEURY, A. L.; ROZENFELD, H.; PHAAL, R.; PROBERT, D.; CHENG, L. C. **Roadmapping: uma abordagem estratégica para o gerenciamento da inovação em produtos, serviços e tecnologias.** Rio de Janeiro, Elsevier, 2012.

MARTINS, R. "Princípios da Pesquisa Científica". In: CAUCHICK MIGUEL, P. A. (Coord.). **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações.** 2 ed., capítulo 1, Rio de Janeiro, Elsevier: ABEPRO, 2012.

MELEMEZ, K.; DI GIRONIMO, G.; ESPOSITO, G.; LANZOTTI, A. "Concept design in virtual reality of a forestry trailer using a QFD-TRIZ based approach". **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, n. 37, pp. 789-801, 2013.

MORGAN, D. C. **Environmental opportunities in conceptual design: enhancing the TRIZ database with energy star products and functional models**. Dissertação de M. Sc., Universidade de Maryland, College Park, 2007. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=xeWLYkYff3AC&pg=PA23&lpg=PA23&dq=scaling+up+or+down+triz&source=bl&ots=crs9wSMbu&sig=jpSFLmffUPuYPIWIt73K1P5TUIA&hl=ptBR&sa=X&ved=0ahUKEwiajtLCzJHNAhVC5CYKHQt_AhgQ6AEIHDAAC#v=onepage&q=scaling%20up%20or%20down%20triz&f=false>. Acesso em 05 de jun. 2016.

MUNZBERG, C.; HAMMER, J.; BREM, A.; LINDERMANN, U. "Crisis Situations in Engineering Product Development: A TRIZ based approach". **TRIZ Future Conference**, n. 39, Berlin, 2015.

NAHM, Y. E.; ISHIKAWA, H.; INOUE, M. "New rating methods to prioritize customer requirements in QFD with incomplete customer preferences". **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 65, 2013.

NORRIS, J. **Infantry Mortars of World War II**. Oxford, Osprey Publishing, 2002.

PARK, H.; REE, J. J.; KIM, K. "Identification of promising patents for technology transfers using TRIZ evolution trends". **Expert System with Applications: An International Journal**, v. 39, 2013.

POONGSAN CORP (Coreia do Sul); SEO, H. S. (Coreia do Sul); PARK, S. W. (Coreia do Sul); JEONG, E. H. (Coreia do Sul); LEE, J. K. (Coreia do Sul); KIM, N. J. (Coreia do Sul); PARK, M. S. (Coreia do Sul). **AMMUNITION FOR MORTAR WITH SEPARATION MECHANISM OF PROPELLANT ASSEMBLY PART**. Int CI F42B15/00; F42B15/36; F42C1/04. KR20110070013 (A). 24 jan. 2011.

POONGSAN CORP (Coreia do Sul); PARK, C. G. (Coreia do Sul); LEE, S. J. (Coreia do Sul); KWON, Y. D. (Coreia do Sul); KIM, K. S. (Coreia do Sul). **AMMUNITION FOR MORTAR WITH DOUBLE JOINT STRUCTURE**. Int CI F42B10/34; F42B10/38; F42B12/58; F42B15/36. KR 101.584.488. 6 jul. 2015, 19 jan. 2016.

PUSPITARINI, D.; SUZianti, A.; AL RASYID, H. "Designing A Sustainable Energy-harvesting Stairway: determining product specifications using TRIZ method". **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, n. 216, pp. 938–947, 2016.

RHEINMETALL WAFFE MUNITION (Alemanha); PAESCH, A. (Alemanha). **PYROTECHNIC DELAY DEVICE FOR AN AMMUNITION FUSE, AND MORTAR GRENADE WITH SUCH A DELAY DEVICE**. Int CI F42C 9/10; F42C9/12. EP 3.036.501. 29 jun. 2016. European Patent Office (EPO).

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

RYAN, J. W. **Guns, mortars & rockets**. Oxford, Brassey's Publishers, 1982.

SHULYAK, L. "Introduction to TRIZ". In: ALTSHULLER, G. **40 Principles Extended Edition: TRIZ Keys to Technical Innovation**. Worcester, Technical Innovation Center, 2005.

TDA ARMEMENTS SAS (França). BAR, C. (França); BOUCHERON, G. (França). **Projectile having a body, an explosive charge and retaining means between the body and the charge**. Int CI F42B12/20; F42B33/02. EP 2.339.291 (A1). 03 dez. 2010, 29 jun. 2011. European Patent Office (EPO).

TDA ARMEMENTS SAS (França). COHE, P. (França); DUBOIS, B. (França); RONDET, P. (França). **Ammunition with Device for Holding the Pyrotechnic Charge of the Ammunition**. Int CI F42B12/20. US 2.013.145.952 (A1). 24 mai. 2012, 13 jun. 2013. United States Patent and Trademark Office (USPTO).

TDA ARMEMENTS SAS (França). CLEMENT, B. (França); FOURCOT, D. (França); COHE, P. (França). **Ammunition fuze comprising a safety device linked to the outside environment**. Int CI F42C15/20; F42C15/29; F42C15/20; F42C15/29. EP 1.431.702 (A1). 08 dez. 2003, 23 jun. 2004. European Patent Office (EPO).

TERNINKO, J.; ZUSSMAN, A.; ZLOTIN, B. **Systematic innovation: an introduction to TRIZ**. Boca Raton, CRC Press, 1998.

THE MINISTER OF NATIONAL DEFENSE (Canadá). **Mortar and mortar bomb**. Int CI F42B10/06. GB 928.456 (A). 11 jan. 1960, 12 jun. 1963. The Patent Office – London.

THE UNITED STATES OF AMERICA AS REPRESENTED BY THE SECRETARY OF THE ARMY (Estados Unidos da América); AXELROD, S. (Estados Unidos da América). **Waterproofing mortar ammunition**. Int CI F42B5/16; F42B1/00; F42B13/22. US 3.731.634. 17 set. 1971, 8 mai. 1973. United States Patent and Trademark Office (USPTO).

THE UNITED STATES OF AMERICA AS REPRESENTED BY THE SECRETARY OF THE ARMY (Estados Unidos da América); MANOLE, L. R. (Estados Unidos da América); GILMAN, S. (Estados Unidos da América); MCCARTHY, E. H. (Estados Unidos da América); KELLEY, S. (Estados Unidos da América); CHIAN, R. (Estados Unidos da América); WANNER, M. (Estados Unidos da América); LOGSDON, E. (Estados Unidos da América). **System and method for a flameless tracer/marker utilizing heat marking chemicals**. Int CI F42B12/38; F42B12/40. US 7.055.438 (B1). 2 dez. 2003, 6 jun. 2006. United States Patent and Trademark Office (USPTO).

THE UNITED STATES OF AMERICA AS REPRESENTED BY THE SECRETARY OF THE ARMY (Estados Unidos da América); KHANNA, V. (Estados Unidos da América); DZURY, R. C. (Estados Unidos da América); MILANO, K. (Estados Unidos da América); CHATTERJEE, T.

(Estados Unidos da América). **Propelling charge increment protector for 120mm mortar ammunition**. Int CI F42B30/12. US 6.837.164 (B1). 6 mar. 2003, 4 jan. 2005. United States Patent and Trademark Office (USPTO).

THINK DEFENCE – THE ROLL CORRECTED GUIDED MORTAR. Disponível em: <<http://www.thinkdefence.co.uk/2014/03/roll-corrected-guided-mortar/>>. Acesso em 04 de jun. 2016.

THRING, L. (Inglaterra); GODFREY, P. (Inglaterra). **Improvements in or relating to Ammunition**. Int CI: F42B30/12. GB 124.473 (A). 18 jan. 1916, 03 abr. 1919. The Patent Office – London.

TIDD, J; BESSANT, J. **Gestão da Inovação**. 5 ed. Porto Alegre, Bookman, 2015.

TROTT, P. **Gestão da inovação e desenvolvimento de novos produtos**. 4 ed. Porto Alegre, Bookman, 2012.

ULRICH, K. T.; EPPINGER, S. D. **Product Design and Development**. 5 ed. New York, Editora McGraw-Hill, 2012.

XIAOMIN, L.; SHUIPING, H.; YUTING, C. “Research and application: conceptual integrated model based on TRIZ and bionics for product innovation”. **International Journal on Interactive Design and Manufacturing**, 2015.

YEH, C. H.; HUANG, J. C. Y.; YU, C. K. 2011. Integration of four-phase QFD and TRIZ in product R&D: a notebook case study. **Research In Engineering Design**, v. 22, pp. 125-141, 2011.

YOON, J.; KIM, K. “An automated method for identifying TRIZ evolution trends from patents”. **Expert System with Applications: An International Journal**, v. 38, 2011.

ZHANG, X.; TONG, S.; ERES, H.; WANG, K.; KOSSMANN, M. “Towards avoiding the hidden traps in qfd during requirements establishment”. **Journal of Systems Science and SystemsEngineering**, v. 24, n. 3, 2015.

APÊNDICE A

QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO DE REQUISITOS DE USUÁRIO

USUÁRIO: _____

O questionário é composto por uma sequência de requisitos de **munição de morteiro** cujas relevâncias para o usuário devem ser valoradas através de escala numérica que varia de 1 a 5, na qual 1 é indicativo de requisito pouco relevante e 5 é indicativo de requisito muito relevante:

REQUISITO DE USUÁRIO	RELEVÂNCIA
1. A carga de propulsão inicial deve permanecer fixa durante armazenagem e transporte da munição	_____
2. As cargas de propulsão adicional não devem sofrer avaria durante armazenagem e transporte da munição	_____
3. A detonação do projétil não deve ocorrer antes do disparo	_____
4. A detonação do projétil não deve ocorrer prematuramente após o disparo	_____
5. A detonação do projétil deve poder ser atrasada a partir do momento do impacto	_____
6. A detonação do projétil não deve falhar	_____
7. A trajetória do tiro deve ser visualmente identificável	_____
8. O alcance do tiro deve ser máximo	_____
9. O alcance do tiro deve ser variável	_____
10. A precisão do tiro deve ser máxima	_____
11. A letalidade do projétil deve ser máxima	_____
12. O tiro deve poder ser empregado contra blindagem balística	_____

APÊNDICE B

PARÂMETROS DE ENGENHARIA

O apêndice B lista os 39 parâmetros de engenharia ou características dos sistemas técnicos utilizados por Altshuller (2005) para a construção da matriz de contradição, bem como as suas interpretações conforme Carvalho (2007).

PARÂMETRO	INTERPRETAÇÃO
1. Peso de objeto móvel	A massa do objeto ou a força gravitacional exercida por um objeto em movimento.
2. Peso de objeto imóvel	A massa do objeto ou a força gravitacional exercida por um objeto estacionário.
3. Comprimento de objeto móvel	Qualquer dimensão linear de um objeto em movimento: "largura", "altura", "profundidade", etc.
4. Comprimento de objeto imóvel	Qualquer dimensão linear de um objeto estacionário: "largura", "altura", "profundidade", etc.
5. Área de objeto móvel	Qualquer dimensão relacionada com a superfície ou área de superfície, interna ou externa, de objeto em movimento. Pode incluir área de contato, assim como a própria área da superfície.
6. Área de objeto imóvel	Qualquer dimensão relacionada com a superfície ou área de superfície, interna ou externa, de objeto estacionário. Pode incluir área de contato, assim como a própria área da superfície.

PARÂMETRO	INTERPRETAÇÃO
7. Volume de objeto móvel	Qualquer dimensão relacionada com a medida volumétrica do espaço ocupado por um objeto em movimento ou o espaço em torno dele.
8. Volume de objeto imóvel	Qualquer dimensão relacionada com a medida volumétrica do espaço ocupado por um objeto estacionário ou o espaço em torno dele.
9. Velocidade	A velocidade de um objeto ou uma taxa de qualquer tipo de processo ou ação. Velocidade relativa ou absoluta, linear ou rotacional.
10. Força	Qualquer interação que tenha como intenção mudar a condição de um objeto. Pode ser linear ou rotacional; o termo se aplica também ao torque. Aplica-se às forças estáticas e dinâmicas.
11. Tensão / Pressão	Força exercida em uma unidade de área, incluindo compressão, efeitos dinâmicos e estáticos, fadiga, ruptura e estiramento, desde que o comprimento não seja a questão principal.
12. Forma	O contorno externo, e/ou a aparência estética de um componente de um sistema.
13. Estabilidade de composição	A integridade de um sistema ou o relacionamento dos elementos constituintes de um sistema. Desgaste, decomposição química, dissociação e aumento da entropia deveriam todos ser interpretados como questões que dizem respeito à "estabilidade".

PARÂMETRO	INTERPRETAÇÃO
14. Resistência	A extensão na qual um objeto é capaz de resistir mudando em resposta a uma força. A resistência à quebra. Pode significar um limite elástico, limite plástico, ou resistência final; à tração ou compressão; linear ou rotacional. Também inclui a tenacidade e a dureza.
15. Tempo de ação de objeto móvel	O tempo que um objeto em movimento leva para desempenhar uma ação. O tempo médio entre a reforma, manutenção ou falha são todas medidas da duração da ação, como o são também as questões relacionadas com a "vida útil" (ver também o parâmetro 27).
16. Tempo de ação de objeto imóvel	O tempo que um objeto estacionário leva para desempenhar uma ação. O tempo médio entre a reforma, manutenção ou falha são todas medidas da duração da ação, como o são também as questões relacionadas com a "vida útil" (ver também o parâmetro 27).
17. Temperatura	A condição térmica de um objeto ou sistema medida ou percebida. De modo livre, inclui outros parâmetros térmicos, como capacidade de aquecimento, condutividade, radiação e convecção.
18. Brilho	Fluxo de luz por unidade de área, também outras características óticas do sistema como cor, qualidade da luz, etc.

PARÂMETRO	INTERPRETAÇÃO
19. Energia gasta por objeto móvel	A medida da capacidade de realização de trabalho por um objeto em movimento. Este parâmetro tem como foco a quantidade de energia real (ao invés da eficiência do uso da energia – ver também o parâmetro 22).
20. Energia gasta por objeto imóvel	A medida da capacidade de realização de trabalho por um objeto em movimento. Este parâmetro tem como foco a quantidade de energia real (ao invés da eficiência do uso da energia – ver também o parâmetro 22).
21. Potência	A taxa na qual o trabalho é desempenhado, a taxa de uso da energia ou a taxa de saída de energia.
22. Perda de energia	Uso de energia que não contribui para a função útil que está sendo desempenhada. Ineficiência (ver também o parâmetro 19).
23. Perda de substância	Perda de elementos de um sistema – substâncias, materiais, subsistemas, produto, etc. Pode ser parcial ou completa, permanente ou temporária.
24. Perda de informação	Perda de dados (ou acesso a eles) de ou para um sistema. Inclui os dados associados com qualquer um dos cinco sentidos – visual, auditivo, tátil, olfativo ou gustativo. Pode ser parcial ou completo, permanente ou temporário.
25. Perda de tempo	Ineficiência de tempo: períodos de espera, tempo de folga.

PARÂMETRO	INTERPRETAÇÃO
26. Quantidade de substância	A quantidade ou número de materiais, substâncias, peças, campos ou subsistemas do sistema.
27. Confiabilidade	A capacidade que um sistema tem de desempenhar as funções que se pretende dele em modo e condições previsíveis. Também inclui a durabilidade e a capacidade de se usar um objeto ou sistema ao longo de períodos prolongados (ver também os parâmetros 15 e 16).
28. Acurácia de medição	Grau de precisão. A proximidade de um valor medido a um valor real de uma propriedade de um sistema. Erro de medição.
29. Acurácia de fabricação	O grau no qual as características reais de um sistema ou objeto conferem com as características especificadas ou requeridas.
30. Fatores deletérios em objeto exterior	Suscetibilidade de um sistema aos efeitos prejudiciais gerados externamente. Inclui os assuntos relacionados com a segurança.
31. Fator deletério causado por objeto	Aspectos de um objeto ou sistema que produzem e afetam adversamente elementos externos. Inclui as questões ambientais como, por exemplo, contaminação, emissões, ruído, assim como a vibração.
32. Capacidade de fabricação	Questões relacionadas à manufatura, fabricação e montagem associadas a um objeto ou sistema. Também inclui a facilidade de inspeção.

PARÂMETRO	INTERPRETAÇÃO
33. Conveniência de uso	<p>Simplicidade de operação para o usuário pretendido.</p> <p>Características de qualidade tais como conveniência, conforto, simplicidade, e tempo para se reparar as faltas, falhas, ou defeitos presentes em um sistema. Inclui as questões associadas com a necessidade de ferramentas especiais ou equipamento requerido para realizar o reparo. Também diz respeito às condições associadas com o reparo no próprio local onde o objeto ou sistema se encontra.</p>
34. Capacidade de reparação	<p>A extensão na qual um sistema/objeto é capaz de responder às mudanças externas. Também, diz respeito a um sistema capaz de ser usado de múltiplas formas ou sob uma variedade de circunstâncias. Flexibilidade de operação/uso. Capacidade de customização.</p>
35. Capacidade de adaptação	<p>A quantidade e a diversidade de elementos e dos relacionamentos recíprocos entre os elementos presentes dentro e ao longo dos limites de um sistema. O usuário pode ser um elemento do sistema que ocasiona o aumento da complexidade. Inclui questões como a usabilidade, capacidade de treinamento, quantidade de funções, número excessivo de componentes.</p>
36. Complexidade de um dispositivo	

PARÂMETRO	INTERPRETAÇÃO
37. Complexidade de controle	Inspeção ou análise das operações que é complexa, custosa, consumidora de tempo e/ou mão de obra. Incremento de custo para se medir contra um nível qualidade satisfatório.
38. Nível de automação	A capacidade de um sistema ou objeto de desempenhar as suas funções sem a intervenção humana.
39. Capacidade / Produtividade	A quantidade de funções ou operações úteis (que adicionam valor) desempenhadas por um sistema por unidade de tempo. O tempo por unidade de função ou operação. A saída útil por unidade de tempo. O custo por unidade de saída, ou a quantidade de saída útil. (ver também "velocidade" – parâmetro 9 – a qual dá destaque às questões da mecânica mais do que à saída de produto).

APÊNDICE C

PRINCÍPIOS E SUBPRINCÍPIOS INVENTIVOS

O apêndice C lista os 40 princípios e respectivos subprincípios inventivos apresentados por Altshuller (2005).

1. Segmentação	<ul style="list-style-type: none">a. Dividir um objeto em partes independentes.b. Seccionar um objeto (para fácil montagem e desmontagem).c. Aumentar o grau de segmentação de um objeto.
2. Extração	<ul style="list-style-type: none">a. Extrair a parte ou propriedade indesejada ou desnecessária do objeto.b. Extrair a parte ou propriedade desejada ou necessária do objeto.
3. Qualidade Local	<ul style="list-style-type: none">a. Transição de estrutura homogênea para heterogênea de um objeto ou do ambiente externo.b. Diferentes partes de um objeto devem executar diferentes funções.c. Cada parte de um objeto deve estar sob as condições mais favoráveis para sua operação.
4. Assimetria	<ul style="list-style-type: none">a. Substituir formas simétricas por formas assimétricasb. Aumentar o grau de assimetria se um objeto já for assimétrico.
5. Consolidação	<ul style="list-style-type: none">a. Consolidar no espaço objetos homogêneos ou objetos destinados a operações contíguas.b. Consolidar no tempo operações homogêneas ou contíguas.
6. Universalidade	<ul style="list-style-type: none">a. Um objeto pode desempenhar diversas funções distintas, portanto, outros elementos podem ser removidos.

7. Nidificação (<i>Matrioshka</i>)	<ul style="list-style-type: none"> a. Um objeto é inserido em outro, o qual é inserido em um terceiro, e assim por diante. b. Um objeto passa através de cavidade em outro objeto.
8. Contrapeso	<ul style="list-style-type: none"> a. Compensar o peso de um objeto combinando-o com outro objeto que exerça força de elevação. b. Compensar o peso de um objeto com forças aerodinâmicas ou hidrodinâmicas influenciadas pelo ambiente externo.
9. Ação Contrária Prévia	<ul style="list-style-type: none"> a. Carregar previamente um objeto com tensão contrária para compensar tensões indesejáveis excessivas.
10. Ação Prévia	<ul style="list-style-type: none"> a. Modificar previamente um objeto parcial ou completamente. b. Posicionar previamente objetos para executar ação imediatamente no local mais conveniente.
11. Amortecimento Prévio	<ul style="list-style-type: none"> a. Compensar a baixa confiabilidade de um objeto com medidas emergenciais previamente preparadas.
12. Equipotencialidade	<ul style="list-style-type: none"> a. Modificar a condição de trabalho de um objeto de forma a não haver a necessidade de elevação ou abaixamento.
13. Execução Reversa	<ul style="list-style-type: none"> a. Implementar ação oposta em vez de direcioná-la em função do problema. b. Tornar imóvel a parte móvel do objeto ou o ambiente externo imóvel e tornar móvel a parte imóvel do objeto. c. Virar o objeto verticalmente.

14. Esferoidização	<ul style="list-style-type: none"> a. Substituir partes lineares por curvas, superfícies planas por esféricas, e formas cúbicas por redondas. b. Usar rolamentos, esferas e espirais. c. Substituir movimento linear por rotacional; utilizar força centrífuga.
15. Dinamicidade	<ul style="list-style-type: none"> a. Características de um objeto ou do ambiente externo devem ser alteradas para otimizar o desempenho em cada estágio de operação. b. Tornar móvel um objeto imóvel; tornar um objeto intercambiável. c. Dividir um objeto em elementos capazes de modificar suas posições relativas.
16. Ação Parcial ou Excessiva	<ul style="list-style-type: none"> a. Alcançar parcialmente o efeito desejável se houver dificuldade em sua obtenção total.
17. Transição Dimensional	<ul style="list-style-type: none"> a. Transformar movimento ou localização unidimensional de objetos em bidimensional, bidimensional em tridimensional, e assim por diante. b. Utilização de composição múltipla dos níveis de objetos. c. Inclinar um objeto ou posicioná-lo lateralmente. d. Utilizar o lado oposto de uma superfície. e. Projetar linhas ópticas em áreas próximas ou em lados opostos de um objeto.
18. Vibração Mecânica	<ul style="list-style-type: none"> a. Utilizar oscilação. b. Aumentar para frequência ultrassônica se existir oscilação. c. Usar frequência de ressonância. d. Substituir vibrações mecânicas por piezo-vibrações. e. Conjugas vibrações ultrassônicas com um campo magnético.

19. Ação Periódica	<ul style="list-style-type: none"> a. Substituir uma ação contínua por uma ação periódica (impulso). b. Modificar a frequência se a ação já for periódica. c. Prover ação adicional através de pausas entre impulsos.
20. Continuidade de Ação Útil	<ul style="list-style-type: none"> a. Executar ininterruptamente uma ação. Todas as partes de um objeto devem operar constantemente em capacidade máxima. b. Remover movimento intermediário e inativo. c. Substituir movimento linear por rotacional.
21. Passagem Rápida	<ul style="list-style-type: none"> a. Executar operações deletérias e perigosas em velocidades muito altas.
22. Conversão de malefício em benefício	<ul style="list-style-type: none"> a. Remover um fator deletério através de sua combinação com outro fator deletério. b. Intensificar uma ação deletéria até o ponto em que ela deixa de ser deletéria. c. Utilizar fatores deletérios (especialmente ambientais) para a obtenção de efeitos positivos.
23. Feedback	<ul style="list-style-type: none"> a. Introduzir <i>feedback</i>. b. Modificar <i>feedback</i> já existente.
24. Mediação	<ul style="list-style-type: none"> a. Utilizar um objeto intermediário para transferir ou executar uma ação. b. Conectar temporariamente o objeto original para um facilmente removível.
25. Autosserviço	<ul style="list-style-type: none"> a. Um objeto deve servir a si mesmo e executar operações suplementares e de reparação. b. Utilizar material e energia de descarte.

26. Cópia	<ul style="list-style-type: none"> a. Uma cópia simples e barata deve ser usada no lugar de um objeto original frágil que tenha operação inconveniente. b. Substituir uma cópia opticamente visível por uma cópia infravermelha ou ultravioleta. c. Substituir um objeto (ou sistema de objetos) pelas suas imagens ópticas que possam ser reduzidas ou aumentadas.
27. Disposição	<ul style="list-style-type: none"> a. Substituir um objeto de alto custo por outro de baixo custo, com comprometimento de outras propriedades.
28. Substituição de Sistema Mecânico	<ul style="list-style-type: none"> a. Substituir um sistema mecânico por um sistema óptico, acústico, térmico ou olfativo. b. Utilizar interação entre um objeto e um campo elétrico, magnético ou eletromagnético. c. Substituir campos: imóveis por móveis; fixos por transientes; aleatórios por estruturados. d. Conjuguar campos com partículas ferromagnéticas.
29. Construções Pneumáticas ou Hidráulicas	<ul style="list-style-type: none"> a. Substituir partes sólidas de um objeto por gás ou líquido. Essas partes podem então usar ar ou água para insuflação, ou usar amortecimento pneumático ou hidrostático.
30. Membranas Flexíveis ou Filmes Finos	<ul style="list-style-type: none"> a. Substituir construções usuais por membranas flexíveis ou filmes finos. b. Isolar um objeto do ambiente externo através de membranas flexíveis ou filmes finos.
31. Material Poroso	<ul style="list-style-type: none"> a. Tornar um objeto poroso ou utilizar elementos porosos suplementares. b. Preencher previamente os poros com alguma substância se o objeto já for poroso.

32. Modificação de Cor	<ul style="list-style-type: none"> a. Modificar a cor de um objeto ou de seu ambiente. b. Modificar o grau de translucidez de um objeto ou de seu ambiente. c. Utilizar aditivos coloridos para observar um objeto ou processo de difícil visualização. d. Empregar sinais luminescentes se aditivos coloridos já são usados.
33. Homogeneidade	<ul style="list-style-type: none"> a. O objeto principal e os objetos que interagem com ele devem ser feitos do mesmo material (ou possuírem propriedades similares).
34. Rejeição e Regeneração de Partes	<ul style="list-style-type: none"> a. Rejeitar (descartar, dissolver, evaporar, etc.) ou modificar um elemento após a execução de sua função ou sua inutilização, durante a ação de um objeto. b. Restaurar partes já utilizadas durante a ação de um objeto.
35. Transformação de Propriedades	<ul style="list-style-type: none"> a. Modificar o estado físico de um sistema. b. Modificar a concentração ou densidade de um sistema. c. Modificar o grau de flexibilidade de um sistema. d. Modificar a temperatura ou o volume de um sistema.
36. Transição de Fase	<ul style="list-style-type: none"> a. Utilizar o fenômeno de mudança de fase (mudança de volume, liberação ou absorção de calor, etc.).
37. Expansão Térmica	<ul style="list-style-type: none"> a. Utilizar a expansão ou a contração de um material através da mudança de sua temperatura. b. Utilizar materiais com diferentes coeficientes de expansão térmica.

38. Oxidação Acelerada	a. Elevar o nível de oxidação: ar ambiente para ar oxigenado; ar oxigenado para oxigênio; oxigênio para oxigênio ionizado; oxigênio ionizado para oxigênio ozonizado; oxigênio ozonizado para ozônio; ozônio para oxigênio atômico.
39. Ambiente Inerte	a. Substituir um ambiente normal por um ambiente inerte. b. Introduzir uma substância neutra ou aditivos em um objeto. c. Executar o processo no vácuo.
40. Materiais Compósitos	a. Substituir materiais homogêneos por materiais compósitos.

APÊNDICE D

MATRIZ DE CONTRADIÇÃO

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
1		-	8 15 29 34	-	17 29 34 38	-	2 28 29 40	-	2 8 15 38	8 10 18 37 40	10 36 14 35 40	10 19 35 39 40	1 19 35 39	18 27 31 40	5 31 34 35	-	4 6 29 38	1 19 32 35	12 31 34 35	-	12 18 31 36	2 6 19 34 35	3 5 31 35	10 24 35 35	10 20 28 35	3 18 26 31	1 3 11 27	26 27 28 35	18 26 28 35	18 21 22 39	22 31 35 36	1 27 28 36	2 3 24 28	2 11 27 28	5 8 15 29	26 30 34 36	26 28 29 32	18 19 26 35	3 24 26 37
2	-		-	1 10 29 35	-	2 13 30 35	-	2 5 14 35	-	8 10 19 35	10 13 18 29	10 13 14 29	1 26 39 40	2 10 27 28	-	2 6 19 27	19 22 28 32 35	-	1 18 19 28	15 18 19 22	15 18 19 28	5 8 13 30	10 20 26 35	6 18 19 26	3 8 10 28	18 26 28 35	1 10 17 35	2 19 22 37	1 22 35 39	1 9 13 28	1 6 11 32	2 11 27 28	15 19 29	1 10 26 39	15 17 25 28	2 26 35	1 15 28 35		
3	8 15 29 34	-		-	4 15 17	-	4 7 17 35	-	4 8 13	4 10 17	1 8 15 35	1 8 15 29	8 29 15 34	19	-	10 15 19	32	8 24 35	-	1 35	2 7 35 39	4 10 23 29	1 24	2 15 29	29 35	10 14 29 40	4 28 32	10 28 29 37	1 15 17 24	15 17	1 17 29	4 7 15 29 35	1 10 28	1 14 15 16	1 19 24 26	1 24 26 35	16 17 24 26	4 14 28 29	
4	-	28 29 35 40	-		-	7 10 17 40	-	2 8 14 35	-	10 28	1 14 35	7 13 14 15	35 37 39	14 15 26 28	-	1 35 40	3 18 35 38	3 25	-	-	8 12	6 28	10 24 28 35	24 26	14 29 30	-	15 28 29	3 28 32	2 10 32	1 18	-	15 17 27	2 25	3	1 35	1 26	26	-	7 14 26 30
5	2 4 17 29	-	4 14 15 18	-		4 7 14 17	-	4 29 30 34	2 19 30 35	10 15 28 36	4 5 29 34	2 11 13 39	3 14 15 40	6	-	2 15 16	13 15 19 32	19 32	-	10 18 19 32	15 17 26 30	2 10 35 39	26 30	4 26	6 13 29 30	9 29	3 26 28 32	2 32	1 22 28 33	2 17 18 39	1 13 24 26	13 15 16 17	1 10 13 15	15 30	1 13 14	2 18 26 36	14 23 28 30	2 10 26 34	
6	-	2 14 18 30	-	7 9 26 39	-		-	-	-	1 18 35 36	10 15 36 37	-	2 38	40	-	2 10 19 30	35 38 39	-	-	-	17 32	7 17 30	10 14 18 39	16 30	4 10 18 35	2 4 18 40	4 32 35 40	3 26 28 32	2 18 29 36	2 27 35 39	1 22 40	16 40	4 16	16	15 16	1 18 36	2 18 30 35	23	7 10 15 17
7	2 26 29 40	-	1 4 7 35	-	1 4 7 17	-		-	4 29 34 38	15 35 36 37	6 35 15 29	1 4 10 28 39	1 9 14 15	7 9 14 15	4 6 35	-	10 18 34 39	2 10 13	35	-	6 13 18 35	7 13 15 16	10 34 36 39	2 22	2 6 10 34	7 29 30	1 11 14 40	26 28 25	2 16 27 35	21 22 27 35	1 2 17 40	1 29 40	12 13 15 30	10	15 29	1 26	4 26 29	16 24 34 35	2 6 10 34
8	-	10 14 19 35	14 19	2 8 14 35	-	-	-		-	2 18 37	24 35	2 7 35	28 34 35 40	9 14 15 17	-	34 35 38	4 6 35	-	-	-	6 30	-	10 34 35 39	-	16 18 32 35	3 35	2 16 35	-	10 25 35	19 27 34 39	4 18 30 35	35	-	1	-	1 31	2 17 26	-	2 10 35 37
9	2 13 28 38	-	8 13 14	-	29 30 34	-	7 29 34	-		13 15 19 28	6 18 38 40	15 18 34 35	1 18 28 33	3 8 14 26	3 5 19 35	-	2 28 30 36	10 13 19	8 15 35 38	-	2 19 35 38	14 19 20 35	10 13 28 38	13 26	-	10 19 27 38	11 27 28 35	1 24 28 32	10 25 32	1 23 29 37	2 28 36	21 23 35	1 8 13 35	12 13 28 32	2 27 34	10 15 26	4 10 28 34	3 16 27 34	10 18 27 37
10	1 8 18 37	1 13 18 28	9 17 19 36	10 28	10 15 19	1 18 36 37	9 12 15 37	2 18 36 37	12 13 15 28		11 18 21	10 34 35 40	10 21 27 35	10 14 27 35	2 19	-	10 21 35	-	10 17 19	1 16 36 37	18 35 37	14 15	5 8 35 40	-	10 36 37	14 13 35	3 23 29 35	28 36 37	1 18 27 40	3 13 24 36	1 15 24 37	1 3 25 28	1 11 15	15 17 20	10 18 26 35	10 19 36 37	2 35	3 28 35 37	
11	10 36 37 40	10 13 18 29	10 35 36	1 14 16 35	10 15 28 36	10 15 36 37	6 10 35	24 35	6 35 36	21 35 36		4 10 15 35	2 33 35 40	3 9 18 40	3 19 27	-	2 19 35 39	-	10 14 24 37	-	10 14 35	2 25 36	3 10 36 37	-	4 36 37	10 14 36	10 13 35	6 25 28	3 35	2 22 37	2 18 27 33	1 16 35	11	2	35	1 19 35	2 36 37	24 35	10 14 35 37

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
12	8 10 29 40	3 10 15 26	4 5 29 34	7 10 13 14	4 5 10 34	-	4 14 15 22	2 7 35	15 18 34 35	10 35 37 40	10 14 15 34		1 4 18 33	10 14 30 40	9 14 25 26	-	14 19 22 32	13 15 32	2 6 14 34	-	2 4 6	14	3 5 29 35	-	10 14 17 34	22 36	10 16 40	1 28 32	30 32 40	1 2 22 35	1 17 28 32	15 26 32	1 2 13	1 15 29	1 16 28 29	13 15 39	1 15 32	10 17 26 34	
13	2 21 35 39	1 26 39 40	1 13 15 28	37	2 11 13	39	10 19 28 39	28 34 35 40	15 18 28 33	10 16 21 35	2 35 40	1 4 18 22		9 15 17	10 13 27 35	3 23 35	1 32 35	3 15 27 32	13 19	4 18 27 29	27 31 32 35	2 6 14 39	2 14 30 40	-	27 35	15 32 35	-	13	18	18 24 30 35	27 35 39 40	19 35	30 32 35	2 10 16 35	2 30 26 35	22 23 26 39	22 23 35	1 8 35	3 23 35 40
14	1 8 15 40	1 26 27 40	1 8 15 35	14 15 26 28	3 29 34 40	9 28 40	7 10 14 15	9 14 15 17	8 13 14 26	3 10 14 18	3 10 18 40	10 35 40	13 17 35		3 26 27	-	10 30 40	19 35	10 19 35	35	10 26 28 35	35	28 31 35 40	-	3 10 28 29	10 27 29	3 11 27	3 27	1 18 35 37	2 15 22 35	3 10 32 40	2 28 32 40	3 11 27	3 15 32	2 13 28	3 15 27 40	15	10 14 29 35	
15	5 19 31 34	-	2 9 19	-	3 17 19	-	2 10 19 30	-	3 5 35	2 16 19	3 19 27	14 25 26 28	3 13 35	3 10 27		-	19 35 39	2 4 18 35	6 18 28 35	-	10 19 35 38	-	3 18 27 28	10	10 18 20 28	3 10 35 40	2 11 13	3 16 27 40	15 22 28 33	16 21 22 39	1 4 27	12 27	10 27 29	1 13 35	4 10 15 29	19 29 39	6 10	14 17 19 35	
16	-	6 16 19 27	-	1 35 40	-	-	-	34 35 38	-	-	-	-	3 23 35 39	-	-		18 19 36 40	-	-	-	16	-	16 18 27 38	10	10 16 20 28	3 31 34 35	6 27 34 40	10 24 26	-	1 17 33 40	22	10 35	1	1	2	-	6 25 34 35	1	10 16 20 38
17	6 22 36 38	22 32 35	9 15 19	9 15 19	3 18 35 39	35 38	18 34 39 40	4 6 35	2 28 30 36	3 10 21 35	2 19 35 39	14 19 22 32	1 32 35	10 22 30 40	13 19 39	18 19 36 40		16 21 30 32	3 15 17 19	-	2 14 17 25	17 21 35 38	21 29 31 36	-	18 21 28 35	3 17 30 39	3 10 19 35	19 24 32	24	2 22 33 35	2 22 24 35	26 27	26 27	4 10 16	2 18 27	2 16 17	3 27 31 35	2 16 19 26	15 28 35
18	1 19 32	2 32 35	16 19 32	-	19 26 32	-	2 10 13	-	10 13 19	6 19 26	-	30 32	3 27 32	19 35	2 6 19	-	19 32 35		1 19 32	1 15 32 35	32	1 6 13 16	1 13	1 6	1 17 19 26	1 19	-	11 15 32	3 32	15 19	19 32 35 39	19 26 28 35	13 15 16 17	1 15 19	6 13 32	15 32	2 10 26	2 16 25	
19	12 18 28 31	-	12 28	-	15 19 25	-	13 18 35	-	8 35	2 16 21 26	14 23 25	2 12 29	13 17 19 24	5 9 19 35	6 18 28 35	-	3 14 19 24	2 15 19		6 18 19 37	12 15 22 24	5 18 24 35	-	18 19 35 38	16 18 23 34	11 19 21 27	1 3 32	-	1 6 27 35	2 6 35	26 28 30	19 35	1 15 17 28	13 15 16 17	2 27 28 29	35 38	2 32	12 28 35	
20	-	6 9 19 27	-	-	-	-	-	-	-	36 37	-	-	4 18 27 29	35	-	-	-	2 19 32 35	-	-	-	18 27 28 31	-	-	-	3 31 35	10 23 36	-	-	2 10 22 37	18 19 22	1 4	-	-	-	-	16 19 25 35	-	1 6
21	8 31 36 38	17 19 26 27	1 10 35 37	-	19 38	13 17 32 38	6 35 38	6 25 30	2 15 35	2 26 35 36	10 22 35	2 14 29 40	15 31 32 35	10 26 28	10 19 35 38	16	2 14 17 25	6 16 19	6 16 19 37	-	10 35 38	18 27 28 38	10 19	6 10 20 35	4 19 34	19 24 26 31	2 15 32	2 32	2 19 22 31	2 18 35	10 26 34	10 26 35	2 10 34 35	17 19 34	19 20 30 34	16 19 35	2 17 28	34 35 28	
22	6 15 19 28	6 9 18 19	2 6 7 13	6 7 38	15 17 26 30	7 7 18 30	7 18 23	16 35 38	36 38	-	-	2 6 14 39	26	-	-	7 19 38	1 13 15 32	-	-	3 38	2 27 35 37	10 19	7 10 18 32	7 18 25	10 11 35	32	-	2 21 22 35	2 21 22 35	-	1 32 35	2 19	-	7 23	3 15 23 35	2	10 28 29 35		
23	6 23 35 40	6 22 32 35	10 14 29 39	10 24 28	2 10 31 35	10 18 31 39	1 29 30 36	3 18 31 39	10 13 28 38	14 15 18 40	3 10 36 37	3 5 29 35	2 14 30 40	28 31 35 40	3 18 27 28	16 18 27 38	21 31 36 39	1 6 13	5 18 24 35	12 27 28 31	18 27 28 38	2 27 31 35		10 15 18 35	3 6 10 24	10 29 35 39	16 28 31 34	10 24 31 35	22 30 33 40	1 10 29 34	15 33 34	2 24 28 32	2 27 34 35	2 10 15	10 24 28 35	10 13 18 35	10 18 35	10 23 28 35	
24	10 24 35	5 10 35	1 26	26	26 30	16 30	-	2 22	26 32	-	-	-	-	-	10	10	-	19	-	-	10 19	10 19	-		24 26 28 32	24 28 35	10 23 28	-	-	1 10 22	10 21 22	32	22 27	-	-	-	33 35	35	13 15 23

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
25	10 20 35 37	5 10 20 26	2 15 29	5 14 24 30	4 5 16 26	4 5 10 17 35	2 5 10 34	16 18 32 35	-	5 10 36 37	4 36 37	4 10 17 34	3 5 22 35	3 18 28 29	10 16 20 28	10 16 20 28	18 21 29 35	1 17 19 26	18 19 35 38	1 1 1	6 10 20 35	5 10 18 32	10 18 35 39	24 26 28 32	16 18 35 38	4 10 30	24 28 32 34	18 24 26 28	18 22 34 39	4 28 34 35	4 10 28 34	1 10 32	28 35	6 29	10 18 28 32	24 28 30 35	-		
26	6 18 31 35	18 26 27 35	14 18 29 35	-	14 4 18 29	2 5 20 29	15 -	28 29 34 35	3 14 35	3 10 14 36	14 15 17 40	2 15 14 35	10 3 35	3 10 35	3 31 35	7 18 25	3 6 10 24	16 18 29 34	3 31 35	35	7 18 25	3 6 10 24	24 28 35	16 18 35 38	3 18 28 40	2 13 28	30 31 33 35	29 31 33 35	3 35 39 40	1 27 29 35	10 25 29 35	2 10 25 32	3 15 29	3 10 27	3 18 27	8 35	3 13 27		
27	3 8 10 40	3 8 10 28	4 9 14 15	11 15 28 29	10 14 16 40	4 32 35 40	3 10 14 24	2 24 35	11 21 28 35	3 8 19 28	10 11 24 35	1 11 16 35	-	11 3 25 35	2 3 27 40	6 27 34 40	3 10 35	11 13 32	11 19 21 27	23 36	11 21 26 31	10 11 35	10 29 35 39	10 28	4 10 30	3 21 28 40	3 11 23 32	1 11 32	2 27 35 40	2 26 35 40	-	17 27 40	1 11	8 13 24 35	1 13 35	27 28 40	11 13 27	1 29 35 38	
28	26 32 35	25 26 28 35	5 16 26 28	3 16 28 32	3 26 28 32	3 26 28 32	6 13 32	-	13 24 28 32	2 32	6 28 32	6 28 32	13 32 35	6 28 32	6 28 32	10 24 26	6 19 24 28	1 6 32	3 6 32	-	3 6 32	26 27 32	10 16 28 31	-	24 32 34	2 6 32	1 5 11 23	-	22 24 26 28	3 10 33 39	6 18 25 35	1 13 17 34	1 11 32	2 13 35	10 27 32	24 26 28 32	2 10 28 34	10 28 32	
29	13 18 28 32	9 27 28 35	10 28 29 37	2 10 32 32	28 29 32 36	2 18 28 32	2 28 32	10 25 35	10 28 32	19 28 34 36	3 35	30 32 40	18 30	3 27	3 27 40	-	19 26	3 32	2 32	-	2 32	2 13 32	10 31 35	-	18 26 28 32	30 32	1 11 32	-	10 26 28 36	4 17 26 34	-	1 23 32 35	10 25	-	2 18 26	-	18 23 26 28	10 18 32 39	
30	21 22 27 39	2 13 22 24	1 4 17 39	1 18 33	1 22 28 39	2 27 35 37	22 23 35 37	19 34 39	21 22 35	13 22 37	2 22 37	1 3 22 35	18 24 30 35	1 18 35	15 22 33 40	1 17 33 40	2 22 33 35	1 13 19 27	1 6 24 27	2 10 22 37	2 19 22 31	2 21 22 35	19 22 33 40	2 10 22 35	18 34 35	29 31 33 40	2 24 28 40	23 26 33	10 18 26 28	-	2 24 35	2 25 28 39	2 10 35	11 22 31 35	19 22 29 40	19 22 29 40	3 33 34	13 22 24 35	
31	15 19 22 39	1 22 35 39	15 16 17 22	-	2 17 18 40	1 22 40	2 17 40	4 30 35	3 28 35	1 23 28 40	2 18 27 33	1 35	27 35 40	2 15 22 35	16 21 22 33	16 22 31 39	2 22 24 35	19 24 32 39	2 6 35	18 19 22	2 18 22 35	2 21 22 35	1 10 34	10 21 29	1 22	1 3 24 39	2 24 26 40	3 26 33	4 17 26 34	-	-	-	-	-	1 19 31	1 2 21 27	2	18 22 35 39	
32	15 16 28 29	1 13 27 36	1 13 17 29	15 17 27	1 12 13 26	1 13 16 40	1 13 29 40	35	1 8 13 35	12 35	1 19 35 37	1 13 27 28	1 11 13	1 3 10 32	1 4 27	16 35	18 26 27	1 24 27 28	1 26 27 28	1 4	1 12 24 27	19 35	15 33 34	16 18 24 32	4 28 34 35	1 23 24 35	-	1 12 18 35	-	2 24	-	2 5 13 16	1 9 11 25 35	2 13 15	1 26 27	1 6 11 28	1 8 28	1 10 28 35	
33	2 13 15 25	1 6 13 25	1 12 13 17	-	1 13 16 17	15 16 18 39	1 15 16 35	4 18 31 39	13 18 34	13 28 35	2 12 32	15 28 29 34	30 32 35	3 28 32 40	3 8 25 29	1 16 25	13 26 27	1 13 17 24	1 13 24	-	2 10 34 35	2 13 19	2 24 28 32	4 10 22 27	4 10 28 34	8 17 27 40	2 13 25 34	1 23 32 35	2 25 28 39	-	2 5 12	1 12 26 32	1 15 16 34	12 17 26 32	-	1 3 12 34	1 15 28		
34	2 11 27 35	2 11 27 35	1 10 25 28	3 18 31	13 15 32	16 25	2 11 25 35	1	9 34	1 10 11	13	1 2 4 13	2 35	2 9 11	11 27 28 29	1	4 10	1 13 15	1 15 16 28	-	2 10 15 32	1 15 19 32	2 27 34 35	-	1 10 25 32	2 10 11 28	2 10 16 35	10 25	2 10 16 35	-	1 10 11 35	1 12 15 26	1 4 7 16	1 11 13 25 35	-	7 13 34 35	1 10 32		
35	1 6 8 15	15 16 19 29	1 2 29 35	1 16 35	7 29 30 35	15 16	15 29 35	-	10 14 35	15 17 20	16 35	1 8 15 37	14 30 35	3 6 32 35	1 13 35	2 16	2 3 27 35	1 6 22 26	13 19 29 35	-	1 19 29	1 15 18	2 10 13 15	-	28 35	3 15 35	8 13 24 35	1 5 10 35	-	11 31 32 35	-	1 13 31	1 7 15 16 34	1 4 7 16	15 28 29 37	1	27 34 35	6 28 35 37	
36	26 30 34 36	2 26 35 39	1 19 24 26	26	1 13 14 16	6 36	6 26 34	1 16	10 28 34	16 26	1 19 35	13 15 28 29	2 17 19 22	2 13 28	4 10 15 28	-	2 13 17	13 17 24	2 27 28 29	-	19 20 30 34	2 10 13 35	10 28 29 35	-	6 29	3 10 13 27	2 10 26 34	24 26 32	19 22 29 40	1 19	1 13 26 27	9 24 26 27	1 13	15 28 29 37	10 15 28 37	1 15 24	12 17 28		
37	13 26 27 28	1 6 13 28	16 17 24 26	26	2 13 17 18	2 16 30 39	1 4 16 29	2 18 26 31	3 4 16 35	19 28 36 40	32 35 36 37	1 13 27 39	11 22 30 39	3 15 27 28	19 25 29 39	6 25 34 35	3 16 27 35	2 24 26	35 38	16 19 35	1 10 16 19	3 15 19 35	1 10 18 24	22 27 33 35	9 18 27 29	3 8 27 40	24 26 28 32	-	19 22 28 29	2 21	5 28 5	2 12 26	1 15 28 37	10 15 28	21 34	18 35			

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
38	18	10	13		13		13		10	2	13	11		13	6		2	8	2		2	23	5		24		11	10	18			1	1	1	10	25		5	
	26	26	14	23	14	-	16	-		35	35	13	1	13	9	-	19	19	13	-	27	28	10	33	28	13	27	26	23	2	2	13	3	1	4	15	27		12
	28	28	17		17		35		28			15	18	25			26	32	32		28		35	30	35	35	32	34	28	33		26	12	27	24	34		26	
	35	35	28		17							32											35																35
39	24	3	4	7	10	7	2	2		10	10	10	3	10	2	10	10	1	10		10	10	10	13			1	1	1	13	18	2	1	1	12	2	5		
	26	15	18	14	26	10	6	10	-	15	14	14	22	18	10	16	21	17	19	1	20	28	23	15	-	35	10	10	10	22	22	24	7	10	28	17	18	12	
	35	27	28	26	31	17	10	35		28	37	34	35	28	18	20	28	19	35		35	29	28	23		38	35	28	18	24	35	28	19	25	35	24	27	26	
	37	28	38	30	34	35	34	37		36		40	39	29	35	38	35	26	38			35	35			38	38	34	32	35	39	35	28	32	37	28	35	35	