



Carlos Eduardo Silva da Luz

Abordagem integrada *fuzzy* ANP-QFD aplicada a projetos de novos produtos de defesa: proposição de um modelo conceitual para definição e priorização de requisitos de projeto

Dissertação de Mestrado

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

Orientadora: Prof^a Maria Fatima Ludovico de Almeida

Rio de Janeiro
Outubro de 2017



Carlos Eduardo Silva da Luz

Abordagem integrada *fuzzy* ANP-QFD aplicada a projetos de novos produtos de defesa: proposição de um modelo conceitual para definição e priorização de requisitos de projeto

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Metrologia da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Profa. Maria Fatima Ludovico de Almeida

Orientadora
Programa de Pós-Graduação em Metrologia – PUC-Rio

Prof. Carlos Augusto Caldas de Moraes

Programa de Mestrado em Economia e Gestão Empresarial – UCAM

Prof. Daniel Ramos Louzada

Programa de Pós-Graduação em Metrologia – PUC-Rio

Prof. Márcio da Silveira Carvalho

Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico – PUC-Rio

Rio de Janeiro, 04 de outubro de 2017

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, da autora e de sua orientadora.

Carlos Eduardo Silva da Luz

Formado em Engenharia Mecânica pelo Instituto Militar de Engenharia (IME). Possui especialização em Engenharia de Automóveis, também pelo IME. Atualmente é Chefe da Divisão de Sistemas do Centro Tecnológico do Exército (CTEx) e mestrando do Programa de Pós-Graduação em Metrologia da PUCPUC-Rio.

Ficha Catalográfica

Luz, Carlos Eduardo Silva da

Abordagem integrada *fuzzy* ANP-QFD aplicada a projetos de novos produtos de defesa: proposição de um modelo conceitual para definição e priorização de requisitos de projeto / Carlos Eduardo Silva da Luz; orientadora: Maria Fatima Ludovico de Almeida. – Rio de Janeiro: PUC-Rio, Centro Técnico Científico, Programa de Pós-Graduação em Metrologia, 2017.

97 f.: il.; 30 cm

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

Inclui bibliografia

1. Metrologia – Teses. 2. *Quality Function Deployment*. 3. *Fuzzy* ANP-QFD. 4. Novos produtos de defesa. 5. Projeto COBRA 2020. I. Almeida, Maria Fatima Ludovico de. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Centro Técnico Científico. Programa de Pós-Graduação em Metrologia. III. Título.

CDD: 389.1

Agradecimentos

À minha orientadora Maria Fatima Ludovico de Almeida, pelo apoio encorajador, pelos conhecimentos e valores transmitidos durante todo o curso e pelo convívio fraterno ao longo desses dois anos.

Aos professores da Banca pela disponibilidade e contribuições a esta pesquisa, apontando lacunas importantes, em tempo hábil de serem tratadas.

Ao Centro Tecnológico do Exército – CTEEx - pelo apoio institucional. Particularmente, agradeço ao General de Divisão Claudio Duarte de Moraes, Comandante à época da efetivação da minha matrícula no Programa PósMQI, por ter acreditado no sucesso do desenvolvimento de um modelo inovador para definição de requisitos de qualidade de novos produtos de defesa.

Às equipes da Divisão de Sistemas e do Laboratório de Optrônicos e Sensores do CTEEx, pelo apoio na fase aplicada desta pesquisa.

Aos colegas do mestrado, em especial a Guilherme Martins, pelo companheirismo durante todo o curso e apoio no desenvolvimento do algoritmo em Matlab, durante a fase aplicada deste pesquisa.

Agradeço à Capes pela bolsa de estudos, que viabilizou financeiramente o desenvolvimento do projeto de mestrado.

E, finalmente, aos meus pais, pelo amor e valores transmitidos, à minha família e, em especial, aos meus filhos Carlos Matheus e Sophia Eduarda, pela inspiração e incentivo ao meu crescimento profissional.

Resumo

Luz, Carlos Eduardo Silva da; Almeida, Maria Fatima Ludovico de. **Abordagem integrada Fuzzy ANP-QFD aplicada a projetos de novos produtos de defesa: proposição de um modelo conceitual para definição e priorização de requisitos de projeto.** Rio de Janeiro, 2017. 97 p. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Metrologia, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

A abordagem *Quality Function Deployment* (QFD) integrada a métodos multicritério de apoio à decisão vem sendo amplamente aplicada a projetos de novos produtos, particularmente quando integrada à lógica *fuzzy*. O objetivo da dissertação é propor um modelo conceitual baseado na abordagem *fuzzy ANP-QFD* para definir e priorizar requisitos de projeto de novos produtos de defesa à luz de requisitos dos clientes. A pesquisa pode ser considerada descritiva, metodológica e aplicada. A partir dos resultados da revisão bibliográfica e documental sobre os temas centrais da pesquisa, desenvolveu-se um modelo conceitual para definição e priorização de requisitos técnicos de novos produtos de defesa, buscando-se preencher lacunas identificadas na literatura especializada no período 1987-2017. A aplicabilidade do modelo foi demonstrada mediante um estudo empírico no âmbito do Projeto COBRA 2020, uma iniciativa estratégica do Exército brasileiro. Para este estudo, selecionou-se um dos produtos do referido Projeto – um monóculo de visão térmica. Destacam-se como principais contribuições da pesquisa um modelo para definir e priorizar requisitos de projeto de novos produtos de defesa, que considera a complexidade, subjetividade e incerteza como características inerentes a projetos de novos produtos de defesa. Os resultados desta pesquisa poderão ser replicados em outros projetos de novos produtos de defesa – no Centro Tecnológico do Exército – CTEx – e em outras instituições militares envolvidas com atividades de pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I) no Brasil e no exterior.

Palavras-chave

Metrologia; *Quality Function Deployment*; *fuzzy ANP-QFD*; novos produtos de defesa; requisitos de projeto; requisitos dos clientes; Projeto COBRA 2020.

Abstract

Luz, Carlos Eduardo Silva da; Almeida, Maria Fatima Ludovico de (Advisor). **Integrated fuzzy ANP-QFD approach applied to new defense product development: a proposal of a conceptual model for determining and prioritizing of project requirements.** Rio de Janeiro, 2017. 97 p. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Metrologia. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The Quality Function Deployment (QFD) approach integrated with multicriteria decision-support methods has been widely applied to development of new product, particularly with the support of fuzzy logic. The objective of this dissertation is to propose a conceptual model based on the fuzzy ANP-QFD approach to define and prioritize project requirements of new defense products. The research can be considered descriptive, applied, and methodological. Based on the results of the bibliographic and documentary review on the central themes of the research, a conceptual model was developed to determine and prioritize project requirements of new defense products, seeking to fill gaps identified during the literature review covering the period of 1987-2017. The applicability of the model was demonstrated by an empirical case study having as experimental context the Project COBRA 2020, a strategic initiative of the Brazilian Army. For this study, one of new products to be developed within this Project was selected – a monocular of thermal vision. The main contribution of the research is a model for determining and prioritizing project requirements of new defense products, which considers the complexity, subjectivity, and uncertainty as inherent characteristics to the design of new defense products. The research findings could be replicated in other projects of new defense products - at the Army Technological Center - CTEx - and other military institutions dealing with research, development and innovation (RD&I) activities in Brazil and abroad.

Keywords

Metrology; Quality Function Deployment; fuzzy-QFD; ANP; new defense products; project requirements; client requirements; COBRA 2020 Project.

Sumário

1. Introdução.....	15
1.1 Definição do problema de pesquisa.....	16
1.2 Objetivos: geral e específicos.....	17
1.3 Motivação.....	17
1.4 Metodologia.....	18
1.4.1 Fase exploratória e modelagem.....	20
1.4.2 Fase aplicada.....	21
1.4.3 Fase conclusiva.....	22
1.5 Estrutura da dissertação.....	22
2. Referencial teórico.....	24
2.1 <i>Quality Function Deployment</i> (QFD): breve histórico.....	24
2.2 Descrição da ferramenta QFD.....	26
2.3 Integração de métodos multicritério de apoio à decisão e lógica <i>fuzzy</i> ao QFD.....	28
3. Projetos de novos produtos de defesa e potencial de aplicação de abordagens <i>fuzzy</i> MCDM-QFD.....	32
3.1 A Estratégia Nacional da Defesa e definição de produtos de defesa (PRODE).....	32
3.2 A Política Nacional de Defesa e os Projetos Estratégicos do Exército Brasileiro.....	34
3.3 O Projeto Combatente Brasileiro do Futuro - COBRA 2020.....	36
3.4 Projetos Combatente do Futuro de outros países.....	40
3.5 Potencial de aplicação de abordagens <i>fuzzy</i> MCDM-QFD em projetos de novos produtos de defesa	43
4. Modelo conceitual <i>fuzzy</i> ANP-QFD para definição e priorização de requisitos de projeto de novos produtos de defesa.....	44
4.1 Visão geral do modelo.....	44
4.2 A integração do método ANP à ferramenta QFD.....	47
4.3 Suporte da lógica <i>fuzzy</i>	49
4.4 Descrição detalhada do modelo.....	51
4.4.1 Etapa 1: Definição dos requisitos dos clientes (RCs) e associação com os requisitos de projeto (RPs).....	51
4.4.2 Etapa 2: Determinação dos graus de importância dos RCs, com termos linguísticos	52
4.4.3 Etapa 3: Determinação dos graus de importância dos RPs em relação a cada RC, com termos linguísticos	53

4.4.4 Etapa 4: Construção da matriz de interdependência dos RCs, com termos linguísticos.....	53
4.4.5 Etapa 5: Construção da matriz de interdependência dos RPs, com termos linguísticos.....	54
4.4.6 Etapa 6: Priorização interna dos RCs.....	54
4.4.7 Etapa 7: Priorização interna dos RPs.....	54
4.4.8 Etapa 8: Priorização final dos RPs.....	54
5. Demonstração da aplicabilidade do modelo no âmbito do Projeto COBRA 2020: projeto de um monóculo de visão térmica.....	55
5.1 Escolha do projeto de um novo produto de defesa no âmbito do Projeto COBRA 2020: monóculo de visão térmica.....	55
5.2 Estudo empírico referente ao projeto de um novo monóculo de visão térmica.....	56
5.2.1 Etapa 1: Definição dos requisitos dos clientes (RCs) e associação com os requisitos de projeto (RPs).....	56
5.2.2 Etapa 2: Determinação dos graus de importância dos RCs, com termos linguísticos.....	59
5.2.3 Etapa 3: Determinação dos graus de importância dos RPs em relação a cada RC, com termos linguísticos.....	60
5.2.4 Etapa 4: Construção da matriz de interdependência dos RCs, com termos linguísticos.....	62
5.2.5 Etapa 5: Construção da matriz de interdependência dos RPs, com termos linguísticos.....	64
5.2.6 Etapa 6: Priorização interna dos RCs.....	66
5.2.7 Etapa 7: Priorização interna dos RPs.....	66
5.2.8 Etapa 8: Priorização final dos RPs à luz dos RCs.....	66
5.3 Discussão dos resultados.....	67
5.4 Diferenciais do modelo em relação às práticas correntes de definição e priorização de requisitos técnicos em projetos de novos produtos de defesa.....	67
6. Conclusões.....	70
Referências bibliográficas.....	72
Apêndice 1 – Requisitos dos clientes do monóculo de visão térmica.....	77
Apêndice 2 – Requisitos de projeto do monóculo de visão térmica.....	78
Apêndice 3 – Questionário para avaliação do grau de importância atribuído a requisitos dos clientes: percepção dos futuros usuários militares.....	91

Apêndice 4 – Questionário de avaliação do grau de importância atribuído a requisitos de projeto: percepção de PD&I (planejamento do projeto).....	93
Apêndice 5 – Algoritmo desenvolvido no <i>software</i> MATLAB para definição dos pesos dos requisitos	96

Lista de Figuras

Figura 1.1 -	Desenho da pesquisa, seus componentes e métodos...	19
Figura 1.2 -	Mapa conceitual da pesquisa.....	20
Figura 2.1 -	Integração dos requisitos dos clientes, desde o projeto até a fabricação de um novo produto.....	26
Figura 2.2 -	<i>House of Quality</i> – elemento central do QFD.....	27
Figura 3.1 -	Ciclo de vida dos materiais de emprego militar, de acordo com as Instruções Gerais do Ciclo de Vida dos Sistemas e Materiais de Emprego Militar.....	34
Figura 3.2 -	Estrutura analítica do Sistema COBRA.....	38
Figura 3.3 -	Exemplos de Equipamentos do Sistema Gladius - Alemanha.....	38
Figura 3.4 -	Versões do Projeto COBRA 2020.....	39
Figura 3.5 -	Cenários operacionais de emprego de novos produtos de defesa.....	39
Figura 4.1 -	Abordagem <i>fuzzy</i> ANP-QFD aplicada a projetos de novos produtos de defesa	45
Figura 4.2 -	Estrutura do modelo conceitual baseado na abordagem <i>fuzzy</i> ANP-QFD para projetos de novos produtos de defesa.....	46
Figura 4.3 -	Representação de um número <i>fuzzy</i> triangular.....	48
Figura 4.4 -	Interseção entre M_1 e M_2	51
Figura 5.1 -	Estrutura analítica simplificada do projeto de um monóculo de visão térmica	58
Figura 5.2 -	Dependência interna entre os requisitos dos clientes.....	62
Figura 5.3 -	Dependência interna entre os requisitos de projeto.....	64

Lista de Quadros

Quadro 2.1 -	Integração de métodos multicritério de apoio à decisão e lógica <i>fuzzy</i> à abordagem QFD no planejamento de novos produtos.....	30
Quadro 3.1 -	Exemplos de projetos Combatentes do Futuro de outros países	40
Quadro 4.1 -	Matriz W_2 de comparação pareada dos requisitos dos clientes (RCs).....	53
Quadro 5.1 -	Requisitos dos clientes (RCs) associados aos requisitos de projeto (RPs) do monóculo de visão térmica.....	59

Lista de Tabelas

Tabela 4.1 -	Graus de importância na escala <i>fuzzy</i> , segundo Saaty (1996).....	52
Tabela 4.2 -	Matriz de importância relativa dos RCs em relação ao Requisito do Cliente Ci.....	53
Tabela 5.1 -	Comparação pareada dos requisitos dos clientes (RCs) do monóculo de visão térmica.....	60
Tabela 5.2 -	Importância relativa dos RPs para funcionalidades (RC1).....	61
Tabela 5.3 -	Importância relativa dos RPs para facilidades de uso (RC2).....	61
Tabela 5.4 -	Importância relativa dos RPs para durabilidade (RC3).....	61
Tabela 5.5 -	Importância relativa dos RPs para possibilidade de acoplamento (RC4).....	61
Tabela 5.6 -	Matriz W_2 de comparação pareada dos RCs.....	62
Tabela 5.7 -	Matriz Importância relativa dos RCs para durabilidade (RC1).....	63
Tabela 5.8 -	Matriz Importância relativa dos RCs para durabilidade (RC2).....	63
Tabela 5.9 -	Matriz Importância relativa dos RCs para durabilidade (RC3).....	63
Tabela 5.10 -	Matriz de Interdependência de RCs.....	63
Tabela 5.11 -	Matriz de dependência interna dos RPs em relação a RP1 - corpo do monóculo.....	64
Tabela 5.12 -	Matriz de dependência interna dos RPs em relação a RP3 - sistema de processamento e controle.....	65
Tabela 5.13 -	Matriz de dependência interna dos RPs em relação a RP4 - ocular.....	65
Tabela 5.14 -	Matriz de dependência interna dos RPs em relação a RP5 - sistema LCD.....	65
Tabela 5.15 -	Matriz dos pesos das importâncias relativas para os RPs.....	65
Tabela 5.16 -	Priorização final para os RPs por <i>fuzzy</i> -ANP.....	67
Tabela 5.17 -	Priorização final para os RPs por <i>fuzzy</i> -AHP.....	68

Abreviaturas

AHP – *Analytic Hierarchy Process*
AMD – Apoio multicritério à decisão
ANP – *Analytic Network Process*
COBRA – Combatente Brasileiro do Futuro
CONDOP – Condicionantes doutrinárias e operacionais
CTEx – Centro Tecnológico do Exército
EB – Exército Brasileiro
ELECTRE – *Elimination et Choix Traduisant la Réalité*
END – Estratégia Nacional de Defesa
EUA – Estados Unidos da América
FA – Forças Armadas
HoQ – *House of Quality*
MACBETH – *Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique*
MEM – Material de emprego militar
MCDM – *Multi-criteria decision making methods*
MIS – *Management information systems*
NOF – Necessidades operacionais futuras
NOP – Necessidades operacionais presentes
OCOP – Obtenção da capacidade operacional
P&D – Pesquisa e Desenvolvimento
PD&I – Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação
PDN – Política de Defesa Nacional
PEEx – Plano Estratégico do Exército
PRODE – Produto(s) de defesa
PROFORÇA – Projeto de Força
PROMETEE – *Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations*
QD – *Quality Deployment*
QFD – *Quality Function Deployment*
QFDr – *Quality Function Deployment in a Restricted Sense*
RCs – Requisitos dos clientes
ROs – Requisitos operacionais
RPs – Requisitos de projeto
RTLI – Requisitos técnicos, logísticos e industriais
SIPLEx – Sistemática de Planejamento Estratégico do Exército

SMEM – Sistemas e/ou Material de Emprego Militar

TIC – Tecnologias de Informação e Comunicação

VIKOR – *Višekriterijumsko Kompromisno Rangiranje*

1

Introdução

A oportunidade de reorganização e reaparelhamento das Forças Armadas oferecida pela Estratégia Nacional de Defesa (END) motivou o desenvolvimento de novos equipamentos ou a modernização de outros para o Exército Brasileiro (EB), enfatizando-se o estímulo à indústria nacional de defesa. Surgiu então a Estratégia Braço Forte, que prevê vários projetos de modernização das Forças Armadas, dentre os quais destaca-se o Projeto Combatente Brasileiro do Futuro 2020 (COBRA 2020). Para o sucesso da implantação do Projeto COBRA 2020, o Exército Brasileiro considera de alta relevância o aperfeiçoamento do atual processo de definição dos requisitos de projeto de novos produtos de defesa, que vem sendo praticado no Centro de Tecnológico do Exército – CTEx.

Os cenários de emprego dos produtos de defesa pelos combatentes em suas diversas modalidades elevam a importância de se propor um modelo conceitual que alinhe efetivamente os requisitos de projeto de novos produtos às necessidades e expectativas dos futuros usuários. A ferramenta QFD pode contribuir para resolver possíveis falhas nesse aspecto, especialmente quando combinada com a lógica *fuzzy* e métodos multicritério de apoio à decisão. Abre-se, assim, uma oportunidade de se contribuir para o avanço do conhecimento nesta área, com a proposição de um modelo conceitual para definição e priorização de requisitos de projeto de novos produtos de defesa, à luz dos requisitos operacionais dos futuros usuários.

A ferramenta *Quality Function Deployment* (QFD), combinada com métodos multicritério de apoio à decisão (sigla em inglês, MCDM) e com a lógica *fuzzy*, vem sendo amplamente aplicada a projetos de novos produtos, nos mais diversos setores (Maritan, 2015; Abdolshah e Moradi, 2013). No entanto, a revisão da literatura especializada, cobrindo o período de 1987 a 2017, indicou a não existência de artigos e publicações técnicas referentes a aplicações dessa ferramenta a projetos de novos produtos de defesa.

Define-se *Quality Function Deployment* (QFD) como uma ferramenta que integra as necessidades dos clientes em todo o ciclo de desenvolvimento de um novo produto (Crawford, 1997; Cooper e Kleinschmidt, 2007; Rocha, 2009; Baxter, 2011). O QFD converte as exigências e expectativas dos futuros usuários em características de engenharia (requisitos de projeto) e as transfere para as etapas subsequentes do desenvolvimento do produto até sua fabricação, por meio de desdobramentos sucessivos (Hauser e Clausing, 1988; Clausing, 1994; Akao, 1990; 1996; Akao e Mazur, 2003; Maritan, 2015).

De acordo com King (1987), o QFD é uma ferramenta multifuncional, que permite às organizações priorizarem as expectativas e necessidades dos clientes e, em função disso, desenvolverem soluções inovadoras que sejam efetivas em termos de qualidade e custo.

Com relação ao emprego da lógica *fuzzy* e de métodos multicritério de apoio à decisão de forma integrada à ferramenta QFD no desenvolvimento de novos produtos em geral, identificaram-se trabalhos relevantes durante a etapa de revisão bibliográfica e documental desta pesquisa. Esses trabalhos constituíram a base metodológica para a etapa de modelagem objeto desta dissertação, destacando-se as contribuições de Kahraman *et al.* (2006); Bottani (2009); Liu (2011); Abdolshah e Moradi (2013) e Yuen (2014). No entanto, como já mencionado, não foram identificadas aplicações de abordagens *fuzzy* MCDM-QFD em projetos de novos produtos de defesa, o que confere originalidade à presente pesquisa.

1.1. Definição do problema de pesquisa

Considerando-se:

- a importância do aperfeiçoamento das práticas correntes de definição e priorização dos requisitos de projeto de novos produtos de defesa no Brasil;
- os diferenciais do emprego da lógica *fuzzy* na abordagem QFD, devido à complexidade e incerteza inerentes a esse processo;
- a lacuna identificada na literatura referente à temática em foco;

definiu-se a seguinte questão principal a ser respondida ao longo da pesquisa:

"Como priorizar requisitos de projeto de novos produtos de defesa à luz dos requisitos dos clientes, empregando-se a abordagem *fuzzy* ANP-QFD?"

Esta pesquisa buscará demonstrar a aplicabilidade de um modelo conceitual baseado na abordagem *fuzzy* ANP-QFD para priorizar requisitos de projeto de novos produtos de defesa, tendo como contexto de aplicação experimental o Projeto COBRA 2020 do Exército Brasileiro.

1.2.

Objetivos: geral e específicos

A dissertação tem como objetivo geral propor um modelo conceitual baseado na abordagem *fuzzy* ANP-QFD para priorizar requisitos de projeto de novos produtos de defesa, à luz de requisitos operacionais dos futuros usuários. Este objetivo geral desdobra-se nos seguintes objetivos específicos:

- Identificar e comparar os métodos multicritério de apoio à decisão, que vêm sendo adotados de forma integrada à abordagem QFD em projetos de novos produtos;
- Desenvolver um modelo conceitual *fuzzy* ANP-QFD para priorizar requisitos de projeto de novos produtos de defesa à luz dos requisitos operacionais dos futuros usuários militares (requisitos dos clientes);
- Validar empiricamente o modelo proposto no contexto do Projeto COBRA 2020, tendo como foco um dos novos produtos em desenvolvimento no âmbito deste Projeto – um monóculo de visão térmica;
- Explicitar os diferenciais metodológicos do modelo proposto em relação às práticas correntes no Brasil de priorização de requisitos de projeto de novos produtos de defesa.

1.3.

Motivação

Como já mencionado anteriormente, identificaram-se na literatura especializada trabalhos científicos relevantes sobre aplicações de abordagens *fuzzy* MCDM-QFD em projetos de novos produtos de diversos setores. No entanto, aplicações dessas abordagens em projetos de novos produtos de defesa não foram identificadas na revisão bibliográfica e documental que cobriu o período de 1987 a 2017.

Além da lacuna identificada na literatura e do potencial de aplicação dos resultados aqui reportados, destaca-se ainda a oportunidade oferecida pelo Projeto COBRA 2020, iniciativa do Exército Brasileiro, de se demonstrar empiricamente a

aplicabilidade do modelo durante o desenvolvimento de um dos novos produtos para os combatentes do futuro – um monóculo de visão térmica.

Pelo ineditismo e potencial de replicação dos resultados desta pesquisa em outros projetos de novos produtos de defesa – no Centro Tecnológico do Exército – CTEx – e em outras instituições militares envolvidas com atividades de pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I), considerou-se de alta relevância o desenvolvimento de um modelo conceitual baseado na abordagem *fuzzy* ANP-QFD para priorizar requisitos de projeto de novos produtos de defesa à luz de requisitos dos futuros usuários.

Cabe ressaltar que até o momento a metodologia utilizada pelo Exército Brasileiro para a seleção e priorização de requisitos de projeto de novos produtos de defesa não prevê o uso de métodos multicritério de apoio à decisão. Esta lacuna identificada no contexto institucional das Forças Armadas no Brasil revelou uma oportunidade de investigação neste campo de aplicação, com grande potencial de replicação em projetos de novos produtos de defesa no país e até no exterior.

1.4. Metodologia

Conforme a taxonomia proposta por Vergara (2005), a pesquisa pode ser considerada aplicada, descritiva e metodológica (quanto aos fins).

Quanto aos meios de investigação, a metodologia compreendeu: (i) pesquisa bibliográfica e documental sobre os temas centrais da pesquisa, mediante consulta sistemática nas bases de dados *Scopus*, *Web of Science*, *Science Direct* e *Google Scholar*, cobrindo o período de 1987 a 2017; (ii) desenvolvimento de um modelo conceitual para priorizar requisitos de projeto de novos produtos de defesa, utilizando-se a abordagem *fuzzy* QFD, com suporte do método multicritério *Analytic Network Process* (ANP), proposto por Saaty (1996); (iii) validação empírica do modelo conceitual no âmbito do Projeto COBRA 2020, tendo como foco um dos novos produtos em desenvolvimento no âmbito deste Projeto – um monóculo de visão térmica.

A figura 1.1, a seguir, apresenta a sequência da pesquisa em suas três grandes fases: (i) Fase 1 - exploratória e de modelagem; (ii) Fase 2 - pesquisa aplicada; e (iii) Fase 3 - conclusiva.

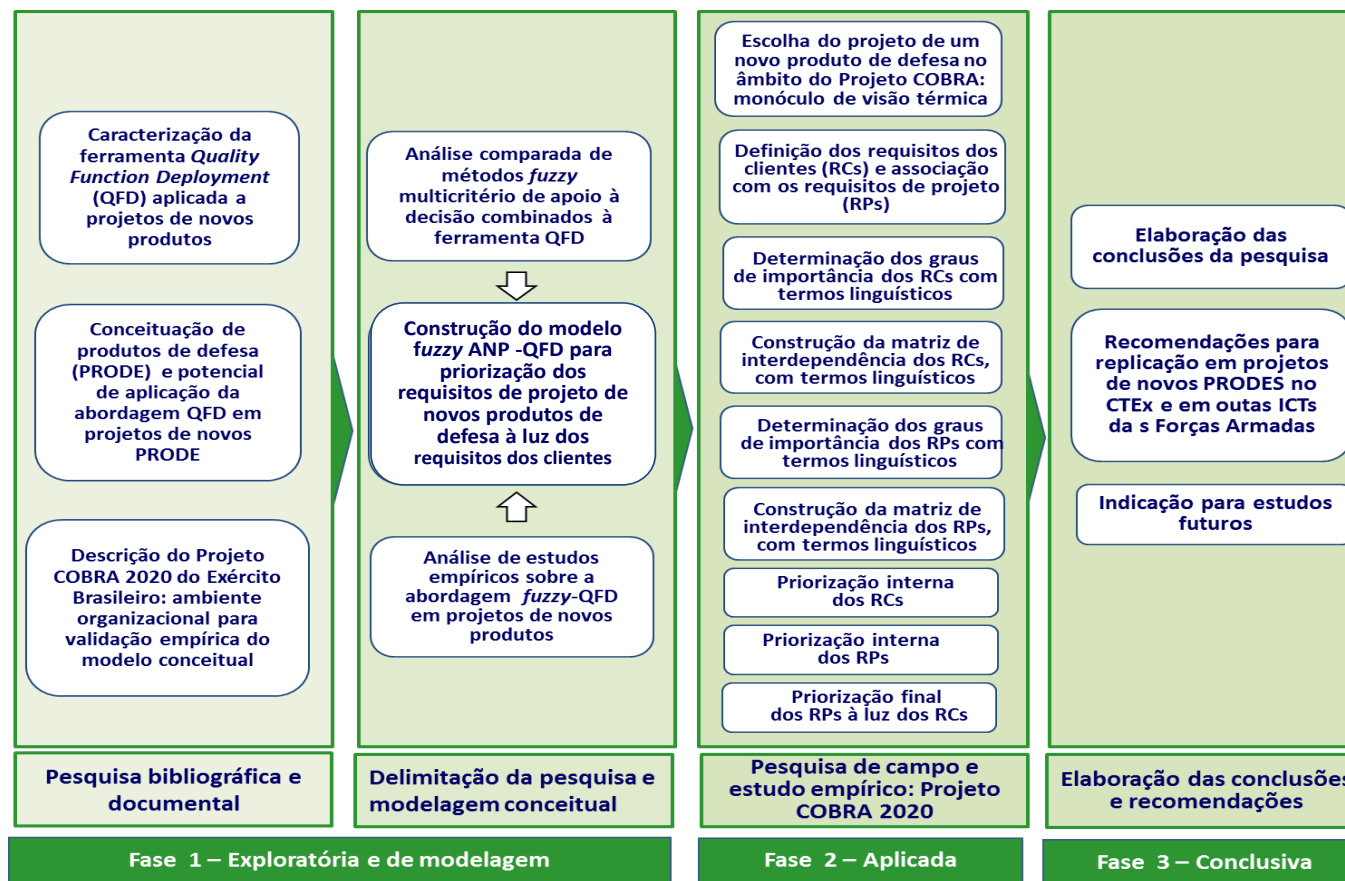


Figura 1.1 – Desenho da pesquisa, seus componentes e métodos

Fonte: Elaboração própria.

1.4.1. Fase exploratória e de modelagem

Nesta fase, adotou-se o método de análise de conteúdo dos resumos dos trabalhos identificados na revisão bibliográfica, visando selecionar aqueles considerados de maior relevância (Bardin, 1977). Apresenta-se adiante na figura 1.2 o mapa conceitual da pesquisa, resultante da fase exploratória.

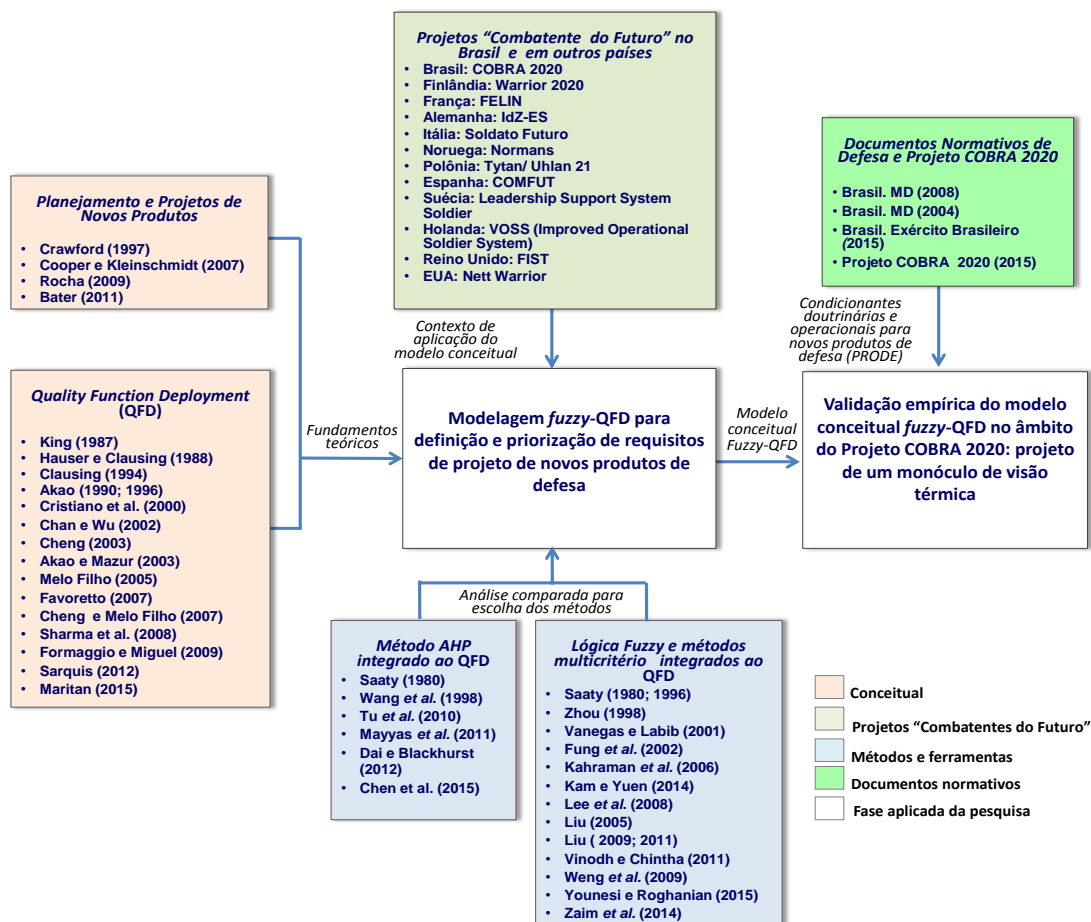


Figura 1.2 – Mapa conceitual da pesquisa

Fonte: Elaboração própria.

A partir da análise dos documentos listados nos blocos em cores da figura 1.2, partiu-se para a etapa de modelagem conceitual. A modelagem baseou-se no trabalho anterior de Kahraman *et al.* (2006), que empregou o método *fuzzy*-ANP, integrando-o à ferramenta QFD para projetos de novos produtos.

Como resultado, foi proposto um modelo conceitual para definição e priorização de requisitos de projeto de novos produtos de defesa, com base na abordagem *fuzzy* ANP-QFD, que leva em consideração as condicionantes doutrinárias e operacionais e as especificidades do contexto institucional do desenvolvimento desses produtos. O modelo compreende oito etapas, como descrito no capítulo 4.

1.4.2. Fase aplicada

Iniciou-se a fase aplicada com a escolha do projeto de um novo produto de defesa, atualmente em fase de desenvolvimento no âmbito do Projeto COBRA 2020. O produto selecionado foi um monóculo de visão térmica, definido como um equipamento optrônico que tem por finalidade permitir ao combatente a detecção, a identificação e o reconhecimento da imagem térmica de objetos ou corpos no Teatro de Operações, tanto durante o dia (em condições de alta luminosidade), quanto durante a noite ou em condições de pouca ou nenhuma luminosidade, incluindo ambientes com fumaça, poeira ou de névoa intensa.

Participaram desta fase o pesquisador, especialistas em Optrônica do Centro de Tecnológico do Exército (CTEx) e futuros usuários do monóculo de visão térmica – objeto do estudo empírico.

A partir da análise das condicionantes doutrinárias e operacionais do Projeto COBRA 2020, definiram-se e agruparam-se os requisitos operacionais dos futuros usuários ou requisitos os clientes (RCs), por consulta direta a futuros usuários do monóculo. Já os requisitos de projeto (RPs) foram definidos mediante consulta a especialistas em Optrônica, integrantes da equipe de engenharia do CTEx e envolvidos neste desenvolvimento.

Uma vez definidas os diagramas relacionais dos requisitos dos clientes (RCs) e dos requisitos de projeto (RPs), procedeu-se ao desenvolvimento do estudo empírico propriamente dito, compreendendo as seguintes etapas: (i) cruzamento matricial dos requisitos dos clientes (RCs) com os requisitos de projeto (RPs) do monóculo de visão térmica; (ii) determinação dos graus de importância dos RCs, com termos linguísticos; (iii) determinação dos graus de importância dos RPs em relação a cada RC, com termos linguísticos; (iv) construção da matriz de

interdependência dos RCs, com termos linguísticos; (v) construção da matriz de interdependência dos RPs, com termos linguísticos; (vi) priorização interna dos RCs; (vii) priorização interna dos RPs; e (viii) priorização final dos RPs à luz dos RCs.

1.4.3.

Fase conclusiva

Formularam-se as conclusões da pesquisa e um conjunto de recomendações ao CTEx, bem como aos interessados na aplicação de um modelo de priorização de requisitos de projeto de novos produtos de defesa, desenvolvido segundo uma abordagem metodológica, que considera a complexidade, subjetividade e incerteza como características inerentes a esse tipo de projeto, bem como as condicionantes doutrinárias e operacionais e as especificidades do contexto institucional do desenvolvimento desses produtos. Encaminharam-se nesta fase propostas de estudos futuros, como desdobramentos naturais da presente pesquisa.

1.5.

Estrutura da dissertação

Esta dissertação encontra-se estruturada em seis capítulos, incluindo esta introdução.

No capítulo 2, apresenta-se o marco conceitual do *Quality Function Deployment* (QFD), com base em revisão da literatura especializada, contemplando o período de 1987 a 2017. Na perspectiva de aplicação do QFD em projetos de novos produtos de defesa, compara-se a abordagem tradicional de QFD com modelos que integram lógica *fuzzy* e métodos multicritério de apoio à decisão ao QFD. Para fins da modelagem pretendida nesta pesquisa, selecionou-se a abordagem *fuzzy* ANP-QFD, pelas características e diferenciais do método ANP, que permite a decomposição de um problema em uma estrutura de rede, sem relações hierárquicas entre seus elementos. Em outras palavras a integração deste método a modelos *fuzzy*-QFD permitirá revelar relações de dependência e feedback entre requisitos de projeto e requisitos operacionais dos futuros usuários de novos produtos de defesa.

No capítulo 3, contextualiza-se o desenvolvimento de novos produtos de defesa no Brasil e em outros países, buscando-se discutir a importância e o potencial de aplicação de abordagens *fuzzy* MCDM-QFD, em função da complexidade,

subjetividade e incerteza observadas em projetos desta natureza e das condicionantes do contexto institucional do desenvolvimento desses produtos.

No capítulo 4, propõe-se e descreve-se um modelo conceitual baseado na abordagem *fuzzy* ANP-QFD para priorizar requisitos de projeto de novos produtos de defesa, à luz de requisitos dos clientes.

Visando a aplicabilidade do modelo, o capítulo 5 apresenta e discute os resultados do estudo empírico desenvolvido no âmbito do Projeto COBRA 2020, tendo como foco o desenvolvimento de um monóculo de visão térmica, na perspectiva de se demonstrar a aplicabilidade do modelo proposto.

Finalmente, no capítulo 6, formulam-se as conclusões da pesquisa e endereçam-se propostas para estudos futuros, como desdobramentos naturais e aprofundamento de aspectos relevantes que emergiram da presente pesquisa.

2

Referencial teórico

Apresenta-se o marco conceitual do *Quality Function Deployment* (QFD), com base em revisão da literatura especializada, contemplando o período de 1987 a 2017. Na perspectiva de aplicação do QFD em projetos de novos produtos de defesa, compara-se a abordagem tradicional de QFD com modelos que integram lógica *fuzzy* e métodos multicritério de apoio à decisão (MCDM) ao QFD. Para fins da modelagem pretendida nesta pesquisa, selecionou-se a abordagem *fuzzy* ANP-QFD, pelas características e diferenciais do método ANP, que permite a decomposição de um problema em uma estrutura de rede, sem relações hierárquicas entre seus elementos. Em outras palavras a integração deste método a modelos *fuzzy*-QFD permitirá revelar relações de dependência e *feedback* entre requisitos de projeto e requisitos operacionais dos futuros usuários de novos produtos de defesa.

2.1.

***Quality Function Deployment* (QFD): breve histórico**

A ferramenta *Quality Function Deployment* (QFD) foi concebida pelos professores Akao e Mizumo no final da década de 60, no Japão, na perspectiva da garantia da qualidade de um novo produto, desde o seu desenvolvimento até a fabricação e entrega ao cliente. Desde então, a ferramenta foi evoluindo e vários elementos metodológicos e conceituais foram introduzidos na concepção original (Cristiano *et al.*, 2000; Cheng e Melo Filho, 2007).

Na visão de Cheng e Melo Filho (2007), esses avanços resultaram num modelo amplo de QFD e num compêndio de formas alternativas de sua aplicação. Em paralelo a essa evolução metodológica no Japão, a partir de 1986 os Estados Unidos difundiram de forma significativa o QFD, porém com características distintas da concepção japonesa.

Variadas versões de QFD reportadas na literatura, notadamente na década de 90, criaram confusão no entendimento do que seria verdadeiramente a ferramenta

QFD, pois coexistem diferentes formas de denominar a ferramenta e diferentes versões. Em outras palavras, hoje atribui-se a denominação QFD a diferentes conteúdos (Akao, 1996; Maritan, 2015).

De acordo com Cheng e Melo Filho (2007), na Europa e nos EUA a ferramenta restringe-se ao Desdobramento da Qualidade – QD, enquanto no Japão, o QFD é composto por QD e QFDr, entendido de forma ampla, e ligado ao sistema de gestão de qualidade. No Brasil, com raras exceções, o entendimento do QFD tem sido influenciado de forma significativa pelas visões americana e europeia.

Com relação à prática de QFD nos EUA, ela se encontra disseminada em quase todos os setores da indústria, em especial nas indústrias automobilística, de serviços e de *software*. Já na Europa, há também inúmeros relatos na literatura de casos de aplicação do QFD nos mais diversos contextos socioprodutivos.

Com a exigência cada vez maior dos clientes, as organizações necessitam encontrar alternativas para inovar, diversificando seus produtos e desenvolvendo novos com agilidade. Assim, o QFD torna-se uma das ferramentas de escolha das empresas para dar suporte ao desenvolvimento de novos produtos, visando aumentar sua participação nos mercados em que atuam (Chan e Wu, 2002; Cheng, 2003; Sharma *et al.*, 2008).

Identificaram-se na fase exploratória da presente pesquisa, aplicações inovadoras de QFD em diversos países, além dos EUA, Japão e Europa, que combinam métodos multicritério de apoio à decisão e a lógica *fuzzy*, como será discutido nas seções seguintes.

Como a ferramenta visa integrar as necessidades dos clientes em todo o ciclo de desenvolvimento, o QFD converte as exigências dos usuários em características de engenharia ou requisitos de projeto e as transfere para as etapas subsequentes de desenvolvimento de um novo produto, por meio de desdobramentos sucessivos (Hauser e Clausing, 1988; Clausing, 1994; Maritan, Akao, 1990; 1996; Akao e Mazur, 2003).

No Brasil, há relatos de aplicações do QFD em empresas de diversos setores, incluindo serviços de saúde (Melo Filho, 2005; Favaretto, 2007; Formaggio e Miguel, 2009; Sarquis *et al.*, 2012; e Batista, 2013).

2.2

Descrição da ferramenta QFD

Define-se *Quality Function Deployment* (QFD) como uma ferramenta que integra as necessidades dos clientes em todo o ciclo de desenvolvimento de um novo produto. O QFD converte as exigências e expectativas dos futuros usuários em características de engenharia (requisitos de projeto) e as transfere para as etapas subsequentes do desenvolvimento do produto até sua fabricação, por meio de desdobramentos sucessivos (King, 1987; Hauser e Clausing, 1988; Clausing, 1994; Maritan, Akao, 1990; 1996; Akao e Mazur, 2003; Maritan, 2015).

Há diferentes versões do QFD, sendo a mais conhecida aquela caracterizada por quatro desdobramentos principais, a saber: (i) planejamento do produto; (ii) desenvolvimento; (iii) planejamento do processo; e (iv) planejamento da produção (Akao, 1990; Kahraman *et al.*, 2006; Liu, 2009).

Conforme destacado por Liu (2009; 2011), a ferramenta QFD tradicional pode ser descrita em quatro fases para o desenvolvimento de novos produtos, conforme apresentado na figura 2.1.

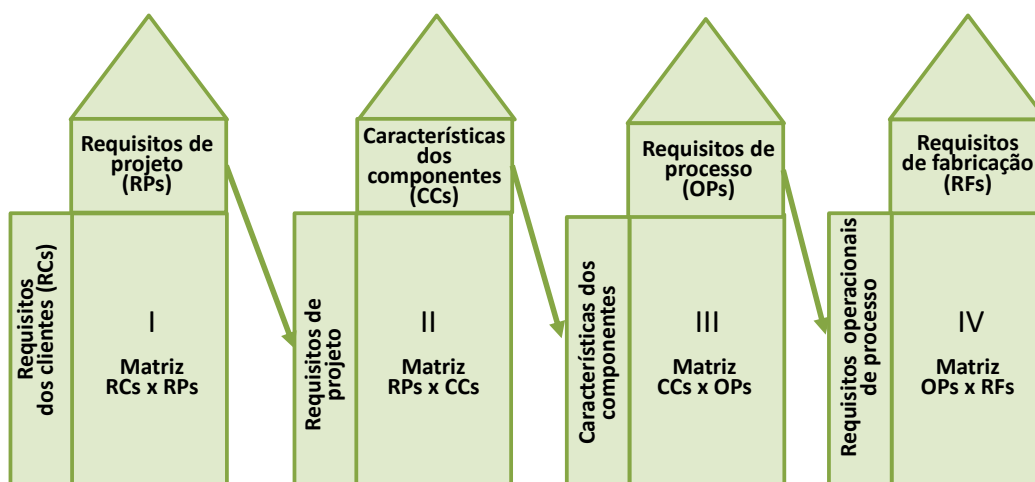


Figura 2.1 - Integração dos requisitos dos clientes, desde o projeto até a fabricação de um novo produto

Fonte: Adaptado de Kahraman *et al.* (2006) e Liu (2009; 2011).

Na série de matrizes interrelacionadas, a informação resultante de uma matriz será a entrada da matriz subsequente e assim por diante até a fase IV (Kahraman *et*

al., 2006). As fases para o desenvolvimento de novos produtos, segundo Kahraman *et al.* (2006) e Liu (2009), são descritas a seguir:

- Fase I – planejamento do produto: as necessidades dos clientes são identificadas e relacionadas à qualidade do produto, traduzidas em características de engenharia ou requisitos de projeto;
- Fase II – desenvolvimento do produto: os outputs do planejamento são traduzidos em características críticas e exploram o relacionamento entre características de engenharia e características dos componentes do produto;
- Fase III – planejamento do processo – estabelecem-se os relacionamentos entre as características dos componentes do produto e os requisitos de processo relacionados a tais características. Nesta fase, parâmetros críticos do processo são identificados e desenvolvidos nas instruções de operação;
- Fase IV – planejamento da produção - traduz as operações de fabricação em produtos padrões ou instruções de trabalhos, tais como o número de partes a serem checadas, tipos de ferramentas a serem utilizadas, método de inspeção.

Para avaliar as interrelações entre os requisitos de cada fase, constroem-se matrizes (RCs x RPs), que são denominadas “*Houses of Quality*” (HoQ). O elemento metodológico central da ferramenta QFD é a “*House of Quality*” (Sharma *et al.*, 2008; Kahraman *et al.*, 2006), conforme ilustrado na figura 2.2 a seguir.

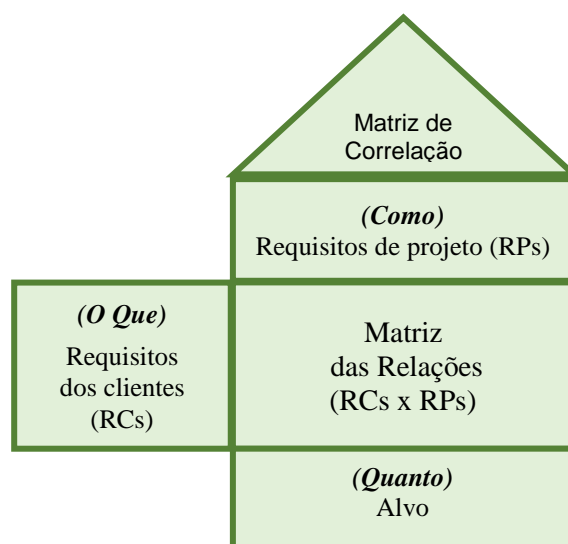


Figura 2.2 - House of Quality – elemento central do QFD.

Fonte: Adaptado de Kahraman *et al.* (2006) e Liu (2009; 2011).

Na fase de planejamento (Fase I) efetuam-se as interrelações entre os requisitos dos clientes – ‘o que fazer’ (*what*), e as características de engenharia ou

requisitos de projeto – ‘como fazer’ (*how*). O HoQ é uma matriz empregada para quantificar o grau de importância relativa dos aspectos da qualidade na perspectiva dos clientes e associar esses requisitos às características de engenharia ou requisitos de projeto (Chan e Wu, 2002; Cheng, 2003; Akao e Mazur, 2003; Sharma *et al.*, 2008).

A matriz de correlação acima – ou o teto da *HoQ* – tem como objetivo identificar qual o nível de interferência no atendimento de cada uma das exigências apontadas pelos clientes. Deste modo é possível descobrir quais as ações apontadas, que quando tomadas, irão interferir de maneira positiva ou negativa em outras. Através desta análise é possível cancelar de antemão soluções que antes pareciam as ideais, e vice-versa.

Com a matriz QFD preenchida, resta analisar quais são as ações, que trarão melhores resultados no atendimento às necessidades dos clientes, podendo ser definidos os alvos prioritários.

Os requisitos de projeto e os requisitos dos clientes deverão ser mensuráveis para que sejam hierarquizados. Sendo assim, a matriz RCs x RPs é realizada mediante o cálculo dos pesos relativos para cada uma dessas matrizes de requisitos. Para minimizar a parcialidade na hierarquização dos requisitos de modo a potencializar o atendimento às demandas dos clientes, esta pesquisa propõe integrar um método multicritério de apoio à decisão e lógica *fuzzy* à ferramenta QFD.

Deve-se ressaltar que para fins da modelagem pretendida, o foco de aplicação do QFD contemplará apenas a Fase I, tendo em vista os objetivos apresentados no item 1.2.

2.3. Integração de métodos multicritério de apoio à decisão e da lógica *fuzzy* ao QFD

Vários pesquisadores empregaram inicialmente o método *Analytic Hierarchy Process* (AHP), introduzido por Saaty (1980), combinado ao QFD, para determinar o grau de importância relativa dos requisitos de qualidade de um novo produto na perspectiva dos futuros usuários (Wang *et al.*, 1998; Tu *et al.*, 2010; Mayyas *et al.*, 2011; Dai e Blackhurst, 2012; Chen *et al.*, 2015).

Em função da imprecisão e incerteza nos julgamentos dos futuros usuários em relação ao grau de importância dos requisitos de qualidade de um novo produto, diversos autores passaram a integrar à ferramenta QFD métodos multicritério de apoio à decisão e lógica *fuzzy*.

Nesta seção, apresentam-se os resultados da revisão bibliográfica e documental, abrangendo o período de 1987 a 2017 e tendo como foco aplicações da abordagem QFD em projetos de novos produtos, que combinam métodos multicritério de apoio à decisão e lógica *fuzzy* ao QFD. Para tal, definiram-se como palavras-chaves *product development; product design; quality function deployment; QFD; MCDM; multi-criteria decision making methods; fuzzy logic*. Empregaram-se os operadores *AND* e *OR*, conforme o caso, para se chegar às respectivas estratégias de busca nas bases de dados *Scopus, Science Direct e Web of Science*. Essas estratégias revelaram os trabalhos científicos de maior relevância para os objetivos da presente pesquisa, considerando-se o período de 1987-2017.

Dentre os trabalhos científicos mais relevantes, evidenciou-se a combinação de diversos métodos multicritério de apoio à decisão e lógica *fuzzy* ao QFD, a saber: (i) ANP (Raharjo, Brombacher e Xie, 2008); (ii) *fuzzy* Delphi e *fuzzy* DEMATEL (Wang e Chen, 2012); (iii) *fuzzy* DMS e *fuzzy* AHP (Güngör, Delice e Kesen, 2011); (iv) *fuzzy*-ANP (Kahraman *et al.*, 2006).

Observou ainda que a ferramenta QFD combinada a esses métodos e à lógica *fuzzy* tem sido aplicada em diversas etapas da Fase I (planejamento do produto), tais como: (i) identificação das prioridades dos clientes; (ii) priorização dos requisitos dos clientes; (iii) definição dos requisitos de projeto; e (iv) priorização dos requisitos de projeto à luz dos requisitos dos clientes.

Em particular, aplicações da lógica *fuzzy* configuram-se como uma tendência na modelagem de desenvolvimento de novos produtos, como pode ser constatado no quadro 2.1, a seguir.

Quadro 2.1 – Integração de métodos multicritério de apoio à decisão e lógica *fuzzy* ao QFD no planejamento de novos produtos

Autores	Métodos adotados
Zhou (1998)	<i>Fuzzy</i> - QFD
Vanegas e Labib (2001)	<i>Fuzzy</i> -QFD
Fung <i>et al.</i> (2002)	Non-linear <i>fuzzy</i> QFD
Chen e Weng (2003)	<i>Fuzzy</i> - QFD
Chen e Weng (2006)	<i>Fuzzy</i> goal programming models - QFD
Kahraman <i>et al.</i> (2006)	<i>Fuzzy</i> ANP-QFD
Raharjo, Brombacher e Xie (2008)	ANP - QFD
Lee <i>et al.</i> (2008)	<i>Fuzzy</i> Kano - QFD
Chen e Ko (2008)	<i>Fuzzy</i> nonlinear model - QFD
Liu (2009)	<i>Fuzzy</i> - QFD
Chen e Ko (2009)	<i>Fuzzy</i> - failure modes and effects analysis (FMEA) - QFD
Delice e Güngör (2009)	Mixed integer linear programming (MILP) – Kano - QFD
Zhai, Khoo e Zhong (2010)	<i>Rough-fuzzy</i> QFD
Chen e Ko (2010)	<i>Fuzzy linear programming</i> - QFD
Güngör, Delice e Kesen (2011)	<i>Fuzzy decision-making system</i> (FDMS); <i>Fuzzy analytical network process</i> (FAHP); QFD
Liu (2011)	<i>Fuzzy</i> - QFD
Vinodh e Chintha (2011)	<i>Fuzzy</i> - QFD
Wang e Chin (2011)	<i>Linear goal programming (LGP)</i> - QFD
Wang e Chen (2012)	<i>Fuzzy</i> Delphi; <i>fuzzy Decision Making Trial and Evaluation Laboratory</i> (fuzzy DEMATEL); <i>linear integer programming (LIP)</i> ; QFD
Li <i>et al.</i> (2012)	<i>Rough set</i> - QFD
Azadi e Saen (2013)	QFD - <i>Imprecise Enhanced Russell Graph Measure</i> (QFD–IERGM)
Zaim <i>et al.</i> (2014)	<i>Fuzzy</i> ANP - QFD
Yuen (2014)	<i>Fuzzy Cognitive Network Process</i> (F-CNP); <i>Fuzzy Aggregative Grading Clustering</i> (AGC); <i>Fuzzy Quality Function Deployment</i> (QFD)
Zaim <i>et al.</i> (2014)	<i>Fuzzy</i> – QFD; ANP
Younesi e Roghanian (2015)	DEMATEL; <i>Fuzzy</i> -ANP; QFD
Altun, Zedtwitz e Dereli (2016)	QFD <i>Modified Even-Swaps</i>

Fonte: Elaboração própria, a partir da consulta sistemática a bases de dados internacionais, cobrindo o período de 1997 a 2017.

O conceito de conjuntos *fuzzy* foi inicialmente introduzido por Zadeh (1965) para modelar a incerteza na definição de parâmetros, considerando a subjetividade e a experiência dos profissionais especialistas. O emprego da lógica *fuzzy* em processos decisórios permite converter as informações imprecisas e descritas em linguagem natural em formatos numéricos.

Para fins da modelagem pretendida nesta pesquisa, selecionou-se, dentre os modelos listados no quadro 2.1 o modelo *fuzzy* ANP-QFD, proposto por Kahraman *et al.* (2006), pelo caráter didático e por permitir a decomposição de um problema em uma estrutura de rede, sem relações hierárquicas entre seus elementos. Constatou-se, pela análise comparativa dos métodos e modelos listados no quadro 2.1, que a integração do método ANP a modelos *fuzzy*-QFD permitirá revelar relações de dependência e *feedback* entre requisitos de projeto e requisitos operacionais dos futuros usuários de novos produtos de defesa. Cabe destacar ainda que o modelo proposto nesta dissertação refere-se à primeira “*House of Quality*” – Fase I, da figura 2.1.

3

Projetos de novos produtos de defesa e potencial de aplicação da abordagem *fuzzy* MCDM-QFD

Neste capítulo, contextualiza-se o desenvolvimento de novos produtos de defesa no Brasil e em outros países, buscando-se discutir a importância e o potencial de aplicação de abordagens *fuzzy* MCDM-QFD, em função da complexidade, subjetividade e incerteza observadas em projetos desta natureza; e das condicionantes doutrinárias e operacionais, específicas do contexto institucional do desenvolvimento desses produtos.

As demandas de equipamentos e insumos para a atividade de defesa abrangem um espectro variado de aplicações, tais como, comunicação e controle, armamentos, munições, viaturas, proteção balística, sobrevivência, fardamentos, dentre outros. Tais segmentos apresentam constantes avanços tecnológicos, gerando uma necessidade de evolução e desenvolvimento de novos produtos que mantenham o país apto a enfrentar possíveis ameaças.

3.1.

A Estratégia Nacional da Defesa e a definição de produtos de defesa (PRODE)

O Ministério da Defesa tem por missão mobilizar a sociedade brasileira em torno de uma Estratégia Nacional de Defesa (END) que assegure os interesses e a soberania do Brasil, estabelecendo diretrizes para a adequada preparação e capacitação das Forças Armadas (FA), de modo a garantir a segurança do país tanto em tempo de paz, quanto em situações de crise. Para tal, a END prevê o atendimento às necessidades de equipamento dos Comandos Militares, reorganizando a indústria de defesa para que as tecnologias mais avançadas estejam sob o domínio nacional.

A Estratégia Nacional de Defesa (END) trata das questões político-institucionais que garantam os meios para fazer com que o governo e sociedade se engajem decisivamente na “grande estratégia” de segurança da nação, instituindo

estratégicas de médio e longo prazo e objetivando a modernização da estrutura nacional de defesa.

Neste contexto, nos Objetivos Estratégicos estabelecidos na END para o Exército Brasileiro, é apresentada uma nova forma de atuação, por intermédio da qual a Força Terrestre deve se fazer presente, ainda que de forma seletiva, em todo território nacional, por meio de seu módulo básico de combate, a brigada (Prado Filho, 2014).

Constata-se que END apresenta uma proposta de cumprimento das missões das FA por meio de novas capacidades adquiridas por seus recursos humanos e da adoção de Produtos de Defesa (PRODE) de interesse da Doutrina, nos quais serão implementadas tecnologias avançadas prioritariamente de domínio nacional. Faz-se necessário, portanto, promover uma transformação no setor de Defesa respaldada pela vertente tecnológica, para que tenha melhores condições para cumprir sua missão de garantia dos Objetivos Nacionais (Prado Filho, 2014).

A Portaria nº 1.507, de 15 de dezembro de 2014, na qual o Comandante do Exército Brasileiro aprova o Plano Estratégico do Exército 2016-2019, integrante da Sistemática de Planejamento Estratégico do Exército (SIPLEX) estabelece que até 2022, o Processo de Transformação do Exército chegará a uma nova doutrina - com o emprego de produtos de defesa tecnologicamente avançados, profissionais altamente capacitados e motivados - para que o Exército possa enfrentar com os meios adequados, os desafios do século XXI, respaldando as decisões soberanas do Brasil no cenário internacional.

Os Produtos de Defesa (PRODE) têm desde a sua formulação conceitual até a sua alienação descritas nas “Instruções Gerais para Gestão do Ciclo de Vida dos Sistemas e Materiais de Emprego Militar (EB10-IG-01.018)” – 1ª Edição 2016, que vem a ser uma atualização da IG 20-12 de mesmo nome.

De uma forma resumida, o processo de elaboração dos elementos de definição de um SMEM se inicia com a elaboração dos requisitos operacionais (RO) a partir das necessidades operacionais descritas nas condicionantes doutrinárias operacionais (CONDOP). Esses RO descrevem de forma conceitual e operacional a expectativa de desempenho do PRODE. Após homologados, servem de base para a confecção dos requisitos técnicos, logísticos e industriais (RTLI), que são requisitos estruturados à luz de normas técnicas consagradas, de forma a embasar a

P&D do produto. Essas etapas constituem o “Levantamento de Necessidades” e a “Formulação Conceitual do Ciclo de Vida do Material”, como representado de forma esquemática na figura 3.1.

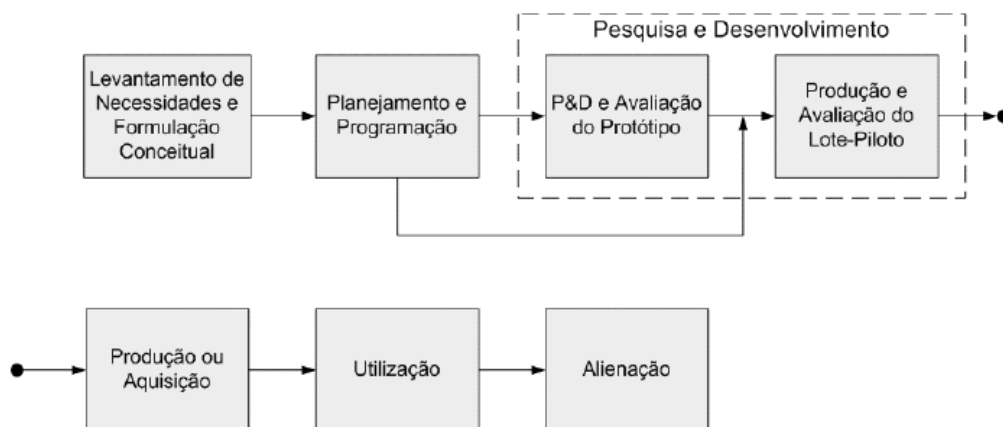


Figura 3.1 – Ciclo de Vida de um Material de Emprego Militar (MEM) de acordo com Instruções Gerais para Gestão do Ciclo de Vida dos Sistemas e Materiais de Emprego Militar

Fonte: Elaboração própria.

3.2.

A Política Nacional de Defesa e os Projetos Estratégicos do Exército Brasileiro

A atualização da Política de Defesa Nacional (PDN) e o lançamento da Estratégia Nacional de Defesa (END) foram instrumentos para a promoção de novas capacidades do Setor de Defesa, compatíveis com o papel político-estratégico que o Brasil almeja desempenhar no concerto das nações.

A PND, como documento de mais alto nível do planejamento de ações da Defesa Nacional, define os objetivos nacionais de defesa a serem perseguidos pelo Estado brasileiro e estabelece orientações quanto ao preparo e emprego dos setores militares e civis para o atendimento desses objetivos. Desta forma, tem como principal enfoque a estruturação da Defesa Nacional de forma compatível com a estatura político-estratégica do País para preservar a soberania e os interesses nacionais.

A análise da PND permite constatar a importância estratégica que os avanços da tecnologia da informação, a utilização de satélites, o sensoriamento eletrônico e

outros aperfeiçoamentos tecnológicos possuem para o aumento da eficiência nos sistemas administrativos e militares.

A END apresenta um conjunto de diretrizes e ações, alinhadas com a PND, que orientam a transformação das FA por meio do desenvolvimento de capacidades que lhe permitam atuar com efetividade na Era do Conhecimento, caracterizada pela ocorrência de mudanças e inovações tecnológicas em ritmo acelerado e pela valorização do Ser Humano.

Apresenta-se uma nova forma de atuação nos “Objetivos Estratégicos” estabelecidos na END para o Exército Brasileiro, segundo a qual a F Ter deve se fazer presente, ainda que de forma seletiva, em todo território nacional, por meio de seu módulo básico de combate, empregando os conceitos estratégicos de: flexibilidade, adaptabilidade, modularidade, elasticidade e sustentabilidade, constantes nas ‘Bases para a Transformação da Doutrina Militar Terrestre’.

A combinação de tais conceitos viabiliza a redução do tempo de resposta e o aumento de seu poder de combate, além de promover a necessária consciência situacional, por intermédio do monitoramento e controle, àqueles que atuarem nas ações decisórias. No setor cibernético, em particular, a END destaca como prioritárias as tecnologias de informação e comunicação (TIC) que assegurem a capacidade das FA atuarem em rede, de forma segura, buscando estabelecer procedimentos visando à redução das possíveis vulnerabilidades dos sistemas aos ataques cibernéticos ou, caso necessário, o seu pronto restabelecimento.

As diretrizes constantes da END apontam Ciência e Tecnologia como um dos mais importantes vetores para transformação das FA, tendo em vista que as capacidades requeridas estão, em grande parte, fundamentadas na utilização de produtos de defesa com alta tecnologia agregada, preferencialmente autóctone e de emprego dual.

Nesse contexto, o EB publicou o documento intitulado Processo de Transformação do Exército, a fim de direcionar os esforços para que a Instituição seja capaz de se adequar à estatura político-estratégica visualizada para o Brasil: constituir-se em um dos polos do poder mundial, tomando parte ativa nas decisões internacionais.

Assim, foi planejado um conjunto de ações estratégicas para fomentar esta transformação (Projeto de Força - PROFORÇA), que estabelece as bases para a Transformação do Exército Brasileiro, sendo o seu principal projeto de integração.

O Proforça introduz o conceito de um Exército Brasileiro Baseado em Capacidades, estabelecendo metas a serem alcançadas em 2015, 2022 e 2031, orientando o processo de transformação, que será conduzido pelos seguintes vetores de transformação: Ciência e Tecnologia; Doutrina; Educação e Cultura; Engenharia; Gestão; Logística; Orçamento e Finanças; Preparação e Implantação; e Recursos Humanos.

A Fase 5 – “Plano Estratégico do Exército (PEEx)” da SIPLEx, apresenta os Projetos Estratégicos a serem considerados no processo de Transformação do Exército. Com este viés, o Comandante do Exército Brasileiro definiu sete deles como os indutores dessa transformação, necessários à consecução dos objetivos estabelecidos, conforme será apresentado.

Nesse contexto, o Exército implementou sete programas estratégicos, a saber: (i) “Obtenção da Capacidade Operacional” – OCOP; (ii) Sistema de Monitoramento de Fronteira – SISFRON; (iii) Guarani; (iv) ASTROS 2020; (v) Defesa Antiaérea; (vi) “Defesa Cibernética”; (vii) “Sistema Integrado de Proteção de Estruturas Estratégicas” – PROTEGER.

3.3.

O Projeto Combatente Brasileiro do Futuro – COBRA 2020

Dentre os subprogramas do Programa “Obtenção da Capacidade Operacional” (OCOP), situa-se o Projeto Combatente Brasileiro do Futuro (COBRA 2020), que surge com a necessidade de adaptação do Exército ao ambiente de combate de amplo espectro, com a presença maciça de tecnologia e de outros fatores determinantes, como o direito humanitário, civis não combatentes, ambiente urbano e mídia internacional.

O objetivo geral do OCOP é viabilizar que as OM do Exército Brasileiro obtenham a capacidade de cumprir a missão de defesa da Pátria, por meio da dotação, do repletamento ou da atualização (modernização ou revitalização) de materiais de emprego militar (MEM), imprescindíveis ao seu emprego operacional. Esses materiais devem ser prioritariamente nacionais, adquiridos segundo um

planejamento que contemple futuras aquisições daqueles que estejam em fase de pesquisa e/ou de desenvolvimento e que possam ser produzidos e fornecidos pela BID. O escopo do projeto abrange a modernização e revitalização dos meios da aviação do Exército, de carros de combate e das viaturas M113, Cascavel e Urutu. Contempla, ainda, a aquisição de embarcações fluviais, viaturas, material de artilharia, de campanha, armamento individual e coletivo, munição, equipamentos de visão e pontaria e equipamentos coletivos, dentre outros.

O objetivo do Projeto COBRA 2020 é desenvolver tecnologias brasileiras de qualificação do combatente do Exército, por meio da cooperação entre os centros de pesquisa da Força Terrestre com a Base Industrial de Defesa, instituições científicas civis e as universidades.

O avanço tecnológico célere e os novos cenários de emprego das tropas demandam que o combatente individual possua maior efetividade, mobilidade, proteção, capacidade de sobrevivência e de observação, além de letalidade seletiva.

O Projeto COBRA prevê a adoção de Sistemas e/ou Material de Emprego Militar (SMEM), por aquisição ou P&D (pesquisa e desenvolvimento), que criem soluções tecnológicas, preferencialmente nacionais, por intermédio do Sistema de Ciência, Tecnologia e Inovação do Exército Brasileiro e que atendam às Necessidades Operacionais Presentes (NOP) e às Futuras (NOF) do Sistema Combatente Individual do Futuro.

Todos os desenvolvimentos de novos produtos de defesa previstos no Projeto COBRA 2020 deverão estar em consonância com as “Condicionantes Doutrinárias e Operacionais” (CONDOP) aplicáveis.

O Projeto COBRA 2020, em sua concepção, estrutura-se em torno de três funcionalidades essenciais, que visam garantir a capacidade operativa do combatente, apresentadas na figura 3.2: (i) letalidade; (ii) sobrevivência; e (iii) consciência situacional. Estas funcionalidades dezenas de materiais de emprego militar (MEM), conforme alguns exemplares ilustrados na figura 3.3.



Figura 3.2 – Estrutura analítica do Sistema COBRA

Fonte: Brasil. Ministério da Defesa. Exército Brasileiro. Projeto COBRA 2020 (Brasil, 2014).



Figura 3.3 – Exemplos de equipamentos do Sistema Gladius - Alemanha

Fonte: www.defesanet.com.br.

Observa-se que a complexidade na definição dos requisitos aumenta, tendo em vista a compatibilidade mandatória entre todo o MEM do Sistema COBRA, face a variações em função dos variados cenários de emprego dos novos produtos de defesa, que se pretende operar (figuras 3.4 e 3.5).



Figura 3.4 – Versões do Projeto COBRA 2020

Fonte: Brasil. Ministério da Defesa. Exército Brasileiro. Projeto COBRA 2020 (Brasil, 2014).

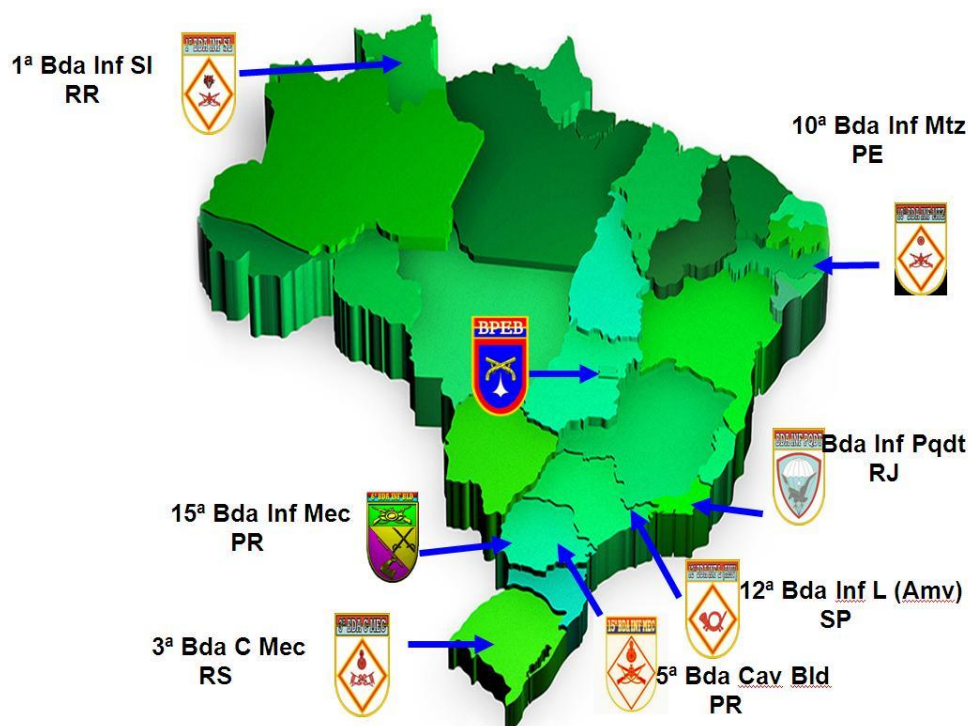


Figura 3.5 – Cenários operacionais de emprego de novos produtos de defesa

Fonte: Brasil. Ministério da Defesa. Exército Brasileiro. Projeto COBRA 2020 (2014).

3.4.

Projetos Combatentes do Futuro de outros países

Já existe hoje o consenso entre vários países, além do Brasil, de se buscar a modernização de suas forças terrestres de forma contínua. Nesse contexto, programas, projetos e estudos de definição de uma nova geração de equipamentos pessoais estão sendo desenvolvidos para o combatente individual.

Em geral, o objetivo principal dos Projetos Combatentes do Futuro é reforçar o papel do soldado dos elementos de manobra, acrescentando a ele uma significativa capacitação para recebimento, remessa, análise e apresentação de dados e outras informações, tornando-se ainda capaz de atuar de forma decisiva no espaço de batalha. Todo o periférico que o soldado necessita levar tradicionalmente está sendo melhorado, além de novidades tecnológicas diversas como equipamentos de visão noturna, GPS, comunicação integrada e exoesqueletos.

Para fins desta pesquisa, destacam-se os projetos internacionais listados no quadro 3.1.

Quadro 3.1 – Exemplos de Projetos Combatentes do Futuro de outros países

Projeto/Sistema	País
FELIN	França
<i>Dutch Dismounted Soldier System (VOSS)</i>	Holanda
IdZ-ES	Alemanha
ISSP	Canadá
LAND 125	Áustria
TYTAN/UHLAN 21	Polônia
COMFUT	Espanha
<i>Land Warrior/GSS</i>	EUA
FIST	Reino Unido
<i>Warrior 2020</i>	Finlândia
NORMANS	Noruega
<i>Leadership Support System Soldier</i>	Suécia

Fonte: Brasil. Ministério da Defesa. Exército Brasileiro. Projeto COBRA 2020 (2014).

No documento intitulado “Projeto Combatente Brasileiro – Escopo”, publicado em 2014 pelo Exército Brasileiro, encontram-se descrições da maioria dos projetos relacionados no quadro 3.1. A análise desses relatos serviu para contextualizar potenciais aplicações do modelo conceitual objeto desta pesquisa.

O sistema norte-americano “Guerreiro Terrestre” (*Land Warrior/GSS*) pode ser considerado um dos mais eficientes, pois foi testado em combate no Iraque permitindo a validação e o aperfeiçoamento de seus subsistemas. Há programas americanos para fases posteriores que incluem os exoesqueletos, que são armações de metal externas que vão ajudar o combatente a se mover mais rápido, superar obstáculos de altura e distância, bem como levantar ou arrastar cargas mais pesadas do que a capacidade de um soldado comum.

Um outro forte recurso em desenvolvimento é o de simulação do combate para os soldados do futuro. O Programa *Dismounted Soldier Training System* (DSTS) é um exemplo de sistema desta natureza utilizado pelo exército americano.

O sistema francês, denominado *Fantassin à Équipements et Liaisons Intégrés* (FELIN), propôs transformar o soldado no elemento central do sistema de armas. O FELIN é um sistema modular e integrado, que proporciona melhoria nas funções operacionais do infante, tais como, sua mobilidade, agressividade, comunicação, observação, proteção, sobrevivência e apoio. Com este sistema, o infante desenvolve melhor suas capacidades, diminuindo suas vulnerabilidades e otimizando a agressividade de dia e à noite. Há uma meta ousada de peso para o sistema de menos de 25 kg, incluindo todo o sistema FELIN – armas e munições - e energia para 24 horas, alimentos e provisões de água.

A Holanda avança no desenvolvimento do VOSS (*Improved Operational Soldier System*), que é uma combinação de processos e programas para o combatente holandês, cujos trabalhos tiveram início em 2008 e priorizam sistemas a capacidade de sobrevivência para o combatente individual. Os seguintes submódulos estão sendo considerados: computador, comunicação, GPS e mira eletrônica; proteção da cabeça integrada (visor, óculos, face e capacete); sistema de transporte de cargas; geração de fonte de energia; comunicações sem uso das mãos; mira no fuzil com visão indireta; e fardamentos.

O Programa de Modernização do Soldado Alemão - *System Soldat - Infanterist der Zukunft - IdZ* (Sistema de Infantaria do Futuro), tem o objetivo de melhorar a efetividade da missão do soldado desmontado e prepará-lo para o espaço de batalha digital com o uso de novas tecnologias, com uma abordagem sistêmica, e com um conceito modular com requerimentos de missão específicos e com potencial de

crescimento considerando as necessidades do usuário e incorporação rápida de avanços tecnológicos.

O Canadá possui o Projeto Sistema Soldado Integrado (ISSP), cujo objetivo é equipar o combatente individual com equipamentos no estado- da-arte, com vistas a melhorar a execução do comando, aquisição de alvos e consciência situacional por fornecer comunicações e de comando e controle em nível soldado; integrar armas de pequeno porte com equipamentos de alta tecnologia; e ver o soldado como um sistema, em vez de um segmento de uma força maior.

A Rússia possui o programa Soldado do Futuro, denominado “*Ratnik*”, que inclui cerca 50 itens, como armas, dispositivos de comunicação e sistemas de navegação e de proteção pessoal contra armas de destruição em massa. Suas capacidades envolvem posicionamento global, dispositivos e equipamentos para identificação e detecção exata de alvos, visores noturnos, assim como nanomateriais para blindagens e próteses assistidas ou exoesqueletos.

Embora muitos sistemas “Soldado do Futuro” estejam com elevado grau de maturação, de um modo geral, devido a sua limitada capacidade de armazenamento e elevado peso, a fonte de energia para manter os equipamentos em funcionamento na frente de combate é um dos maiores desafios.

Todos os periféricos que tradicionalmente equipam o soldado estão sendo melhorados, além de novidades tecnológicas diversas como equipamentos de visão noturna, GPS, comunicação integrada e exoesqueletos. Com isso, cresce a importância de se ajustar com a maior precisão a definição e priorização dos requisitos de projeto, à luz dos requisitos dos usuários (combatentes do futuro). Portanto, o modelo a ser proposto nesta dissertação poderá contribuir de forma significativa para a priorização dos requisitos de projeto de novos produtos a serem desenvolvidos no âmbito do Projeto COBRA 2020. Além disso, acredita-se que os resultados do estudo empírico apresentados adiante no capítulo 5 poderão ser replicados em outros projetos de novos produtos de defesa – no Centro Tecnológico do Exército – CTEx – e em outras instituições militares envolvidas com atividades de pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I) no Brasil e no exterior.

3.5.

Potencial de aplicação da abordagem *fuzzy* MCDM-QFD em projetos de novos produtos de defesa

A interação entre os clientes (futuros usuários do PRODE) e o agente executivo dos requisitos de qualidade do produto, neste caso RO e RTLI, torna-se preponderante para o sucesso de um projeto dessa magnitude. No rol de requisitos, encontram-se proposições parametrizadas e subjetivas, demandas de desempenho definidas por normas técnicas e demandas essencialmente operacionais.

O modelo conceitual proposto no capítulo 4 visa aproximar com a maior eficiência o resultado do projeto às necessidades dos clientes. Cabe ressaltar que essas necessidades abrangem conceitos não apenas de sobrevivência e poder de letalidade e consciência situacional, mas também aspectos relevantes como ergonomia, conforto, durabilidade, modularidade entre as frações de tropa.

Esses aspectos ratificam a necessidade de se “ouvir” o cliente, a partir da ferramenta QFD, bem como ranquear a subjetividade apresentada nas proposições operacionais a partir de *fuzzy*.

Há vários cenários previstos para a atuação do combatente, como, por exemplo, ambientes de selva, pantanal, caatinga e urbano, conforme apresentado na figura 3.3. A lógica *fuzzy* integrada ao QFD constitui uma abordagem especialmente útil quando a imprecisão e a incerteza estão presentes nos processos de definição de requisitos de qualidade de novos produtos de defesa. Termos como “em torno de”, “aproximadamente” e “cerca de” são comumente usados para transmitir os julgamentos de especialistas das equipes de desenvolvimento de novos produtos em relação a dados inexatos.

Portanto, como mencionado anteriormente a aplicação do modelo proposto no capítulo 4 ganha elevada importância no âmbito do Exército Brasileiro pelo fato de ainda não se fazer uso de qualquer método de apoio à decisão nos processos de definição e priorização dos requisitos de projeto de novos produtos de defesa neste contexto institucional.

4

Modelo conceitual *fuzzy* ANP-QFD para definição e priorização de requisitos de projeto de novos produtos de defesa

Propõe-se e descreve-se um modelo conceitual baseado na abordagem *fuzzy* ANP-QFD para priorizar requisitos de projeto de novos produtos de defesa, à luz de requisitos dos clientes.

4.1.

Visão geral do modelo

Considerar a perspectiva dos clientes ou futuros usuários dos novos produtos de defesa pode ser um diferencial em relação às práticas correntes em contextos militares. Muitos projetos de novos produtos de defesa não trazem em seu escopo a aplicação dual, tendo em vista suas especificidades de emprego exclusivamente nas Forças Armadas. Apesar da existência de aplicações duais, na perspectiva dos gestores das atividades, os desenvolvimentos enfatizam requisitos de projeto que são pautados em normas técnicas.

No processo de priorização de requisitos de projeto ou dos clientes em projetos de novos produtos podem surgir incertezas, imprecisões de julgamentos ou até mesmo um consenso equivocado a partir da articulação (ou desarticulação) dos envolvidos. Para auxiliar a priorização desses requisitos, definiu-se como abordagem metodológica o modelo proposto por Kahraman *et al.* (2006), que integra ao QFD o método multicritério *Analytic Network Process* (ANP) e lógica *fuzzy*.

O método ANP foi proposto por Saaty em 1996, como uma ampliação dos recursos do método AHP também criado por ele (Saaty, 1980). Enquanto o AHP decompõe um problema em vários níveis, de tal forma que eles formam uma hierarquia, o método ANP permite priorizar alternativas e conferir pesos aos critérios, e pode ser usado como uma ferramenta efetiva nos casos em que as

interações entre os elementos de um sistema formam uma estrutura de rede (Saaty, 1996).

Com base no referencial teórico abordado no capítulo 2 e considerando-se as condicionantes doutrinárias e operacionais do desenvolvimento de novos produtos de defesa, a modelagem conceitual para a definição e priorização de requisitos de projeto desses produtos, à luz dos requisitos dos futuros usuários militares, baseou-se na abordagem *fuzzy* ANP-QFD, como representado esquematicamente na figura 4.1.

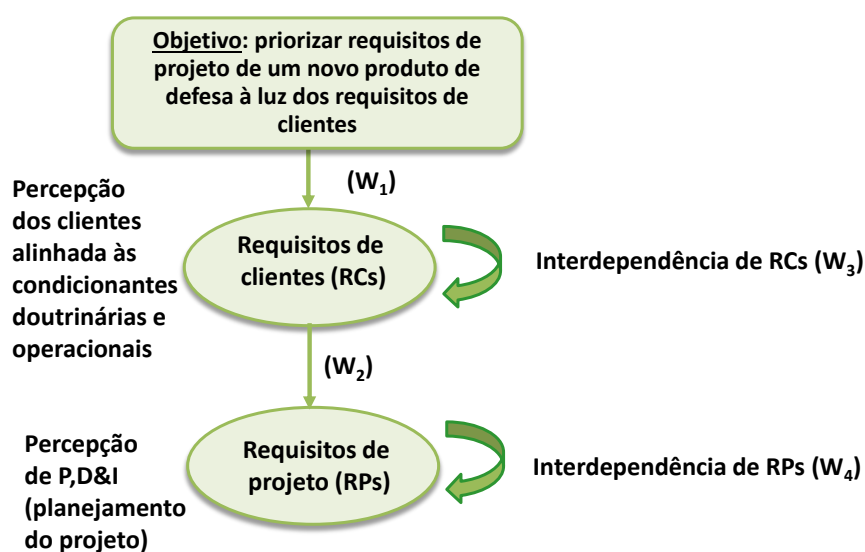


Figura 4.1 – Abordagem *fuzzy* ANP-QFD aplicada a projetos de novos produtos de defesa

Fonte: Elaboração própria, a partir de Kahraman *et al.* (2006).

Propõe-se um modelo conceitual baseado na abordagem *fuzzy* ANP-QFD para definição e priorização dos requisitos de projeto (RPs) de novos produtos de defesa, à luz dos requisitos dos clientes (RCs), como representado graficamente na figura 4.2, a seguir.

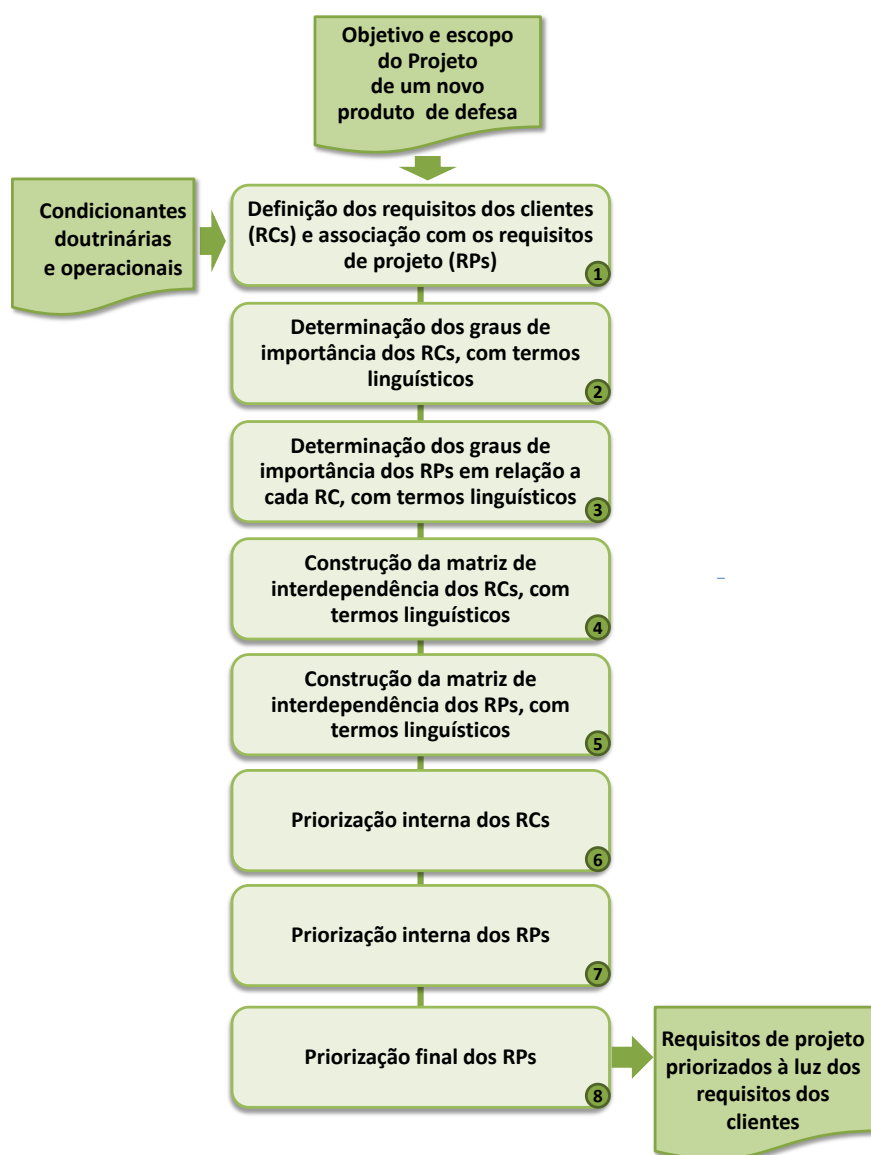


Figura 4.2 – Estrutura do modelo conceitual a ser proposto baseado na abordagem *fuzzy-QFD* aplicada a projetos de novos produtos de defesa

Fonte: Elaboração própria, a partir de Kahraman *et al.* (2006).

4.2.

A integração do método ANP à ferramenta QFD

A representação em rede dos requisitos dos clientes e de projeto para integração à ferramenta QFD baseia-se em uma estrutura de requisitos de qualidade com dependências internas, ou seja, os requisitos dos clientes correspondem às alternativas (requisitos de projeto) que, por sua vez, também são dependentes entre si (Kahraman *et al.*, 2006).

Em síntese, o primeiro passo da representação em rede do modelo QFD consiste na identificação dos RCs e RPs. Em seguida, determinam-se a importância dos RCs, o que corresponde ao primeiro passo do conceito de manipulação de matrizes do método ANP. Em terceiro, os cálculos dos pesos obtidos nas comparações dos RPs em relação a cada RC preenchem o *House of Quality*. Enfim, a priorização das dependências internas dos RPs é obtida através de análises entre as dependências entre RCs e RPs.

A representação geral do modelo QFD adotado neste estudo baseia-se na estrutura ilustrada pela figura 4.1. Da mesma maneira, a matriz W , ou supermatriz do modelo QFD, representa o impacto do objetivo geral nos requisitos dos clientes e requisitos de projeto (equação 1).

$$W = \begin{pmatrix} \text{Obj} & \text{RCs} & \text{RPs} \\ \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ w_1 & W_3 & 0 \\ 0 & W_2 & W_4 \end{pmatrix} & \begin{matrix} \text{Objetivo (Obj)} \\ \text{Requisitos dos clientes (RCs)} \\ \text{Requisitos de projeto (RPs)} \end{matrix} \end{pmatrix} \quad (1)$$

Na equação (1), o vetor w_1 denota os RCs que impactam no objetivo, W_2 é a matriz que denota o impacto dos RCs em cada um dos RPs, finalizando, W_3 e W_4 são matrizes que representam as dependências internas dos RCs e dos RPs, respectivamente. O vetor w_1 e as matrizes W_i são obtidos a partir das comparações pareadas envolvendo os RCs e RPs. Os componentes de W (w_1 , W_2 , W_3 , W_4) são os elementos utilizados nas operações algébricas que resultam na priorização final dos requisitos de projeto, tal como exposto nas próximas seções.

4.3. Suporte da lógica *fuzzy*

As incertezas inerentes aos julgamentos sobre os requisitos que integram as matrizes do modelo QFD podem ser melhor expressas com o suporte dos números *fuzzy*. A teoria dos conjuntos *fuzzy* foi proposta por Zadeh (1965) para tratar as incertezas advindas de dados imprecisos e vagos. Um conjunto *fuzzy* é uma classe de objetos que expressa o grau de pertencimento de uma função, possibilitando tratar matematicamente parâmetros cujas fronteiras são difíceis de estabelecer,

como propriedades consideradas subjetivas e atributos imprecisos. Na literatura encontram-se diversos exemplos de abordagens baseadas em números *fuzzy*, advindos da teoria dos conjuntos *fuzzy*, em problemas de tomada de decisão para representar as incertezas inerentes as preferências ou julgamentos dos especialistas.

Um número *fuzzy* caracteriza-se por uma função de pertinência $\mu_A(x)$ que admite valores entre 0 e 1. O tipo de número *fuzzy* é definido pelo comportamento de $\mu_A(x)$, neste trabalho utiliza-se o número *fuzzy* triangular, que pode ser escrito na forma (l, m, u) e ilustrado pela figura 4.3.

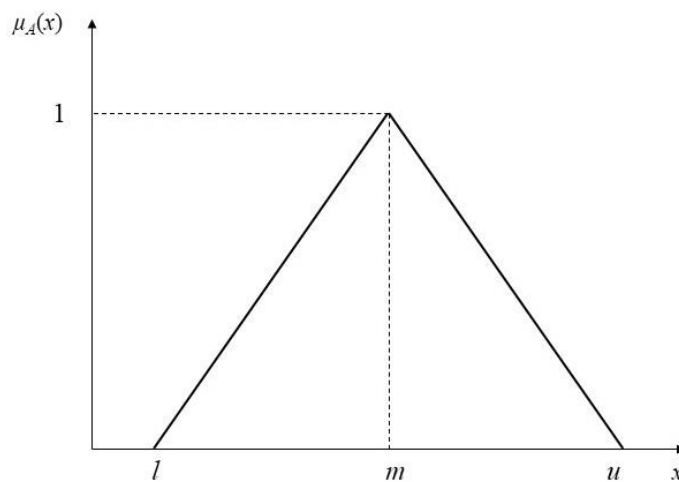


Figura 4.3 – Representação de um número *fuzzy* triangular

Fonte: Elaboração própria.

Onde:

l = limite inferior;

m = valor modal ($\mu_A(x) = 1$);

u = limite superior.

Sejam \tilde{A} e \tilde{B} dois números triangulares *fuzzy*, as operações algébricas são:

$$\tilde{A} + \tilde{B} = [l_A, m_A, u_A] + [l_B, m_B, u_B] = [l_A + l_B, m_A + m_B, u_A + u_B] \quad (2)$$

$$\tilde{A} - \tilde{B} = [l_A, m_A, u_A] - [l_B, m_B, u_B] = [l_A - l_B, m_A - m_B, u_A - u_B] \quad (3)$$

$$\tilde{A} \times \tilde{B} = [l_A, m_A, u_A] \times [l_B, m_B, u_B] = [l_A \times l_B, m_A \times m_B, u_A \times u_B] \quad (4)$$

$$(l_A, m_A, u_A)^{-1} = \left(\frac{1}{u_A}, \frac{1}{m_A}, \frac{1}{l_A} \right) \quad (5)$$

As variáveis linguísticas utilizadas nas avaliações dos RPs e RCs são representadas matematicamente por números *fuzzy*, conforme explicitado adiante.

A abordagem *fuzzy* QFD é uma alternativa ao método clássico QFD, possibilitando que as incertezas no desenvolvimento de novos produtos sejam consideradas. Segundo Kahraman *et al.* (2006), no modelo QFD assume-se que a maioria das variáveis de entrada são precisas e, portanto, são tratadas como dados numéricos. Entretanto, o uso do QFD como mecanismo para traduzir a voz do cliente em atributos de um novo produto requer o uso de dados linguísticos que sejam intrinsecamente ambíguos e vagos (Kahraman *et al.*, 2006). Como as preferências dos clientes podem ser imprecisas e o relacionamento do RCs com os RPs são avaliados qualitativamente, optou-se pelo método *fuzzy* ANP na priorização dos requisitos de projeto (RPs) no modelo QFD.

Como mencionando anteriormente, os cálculos de w_1 , w_2 , w_3 e w_4 resultam na priorização final dos RPs, e para isto, é necessário utilizar o método *fuzzy* AHP. Neste ponto, optou-se pelo método da análise expandida (*extent analysis*), abordagem proposta por Chang (1996). Segundo Kahraman *et al.* (2006), a análise expandida é uma abordagem mais fácil do que os outros métodos *fuzzy* AHP e assemelha-se ao AHP clássico. Com isto, dentro do processo *fuzzy* ANP no modelo QFD, a obtenção dos pesos nas comparações pareadas dos elementos de W (Eq. 1) dá-se segundo o método *fuzzy* AHP, onde os cálculos dos autovetores retornam os pesos relativos dos RCs e RPs.

As etapas da análise expandida proposta por Chang (1996) são as seguintes: Seja $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ um conjunto de objetos e $G = \{g_1, g_2, \dots, g_m\}$ um conjunto de objetivos. Seleciona-se cada objeto e realiza-se a análise expandida para cada objetivo, g_i . Então, m valores de análise expandida podem ser obtidos para cada objeto, como na Equação 6:

$$M_{gi}^1, M_{gi}^2, \dots, M_{gi}^m, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (6)$$

onde todo M_{gi}^j ($j=1, 2, \dots, m$) são números *fuzzy* triangulares.

Utilizando números *fuzzy* triangulares nas comparações pareadas, a matriz de avaliação *fuzzy* $A = (a_{ij})_{n \times m}$ é construída.

O passo a passo da análise expandida de Chang pode ser dado como:

(i) O valor *fuzzy* sintético expandido em relação ao i -ésimo objeto é dado por

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \times \left[\sum_{j=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} \quad (7)$$

Para obter $\sum_{j=1}^m M_{gi}^j$, executa-se a operação de adição *fuzzy*, Eq. (2), em uma matriz particular como

$$\sum_{j=1}^m M_{gi}^j = \left(\sum_{j=1}^m l_j, \sum_{j=1}^m m_j, \sum_{j=1}^m u_j \right). \quad (8)$$

Para determinar $\left[\sum_{j=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1}$, executa-se a operação de adição *fuzzy*, Eq. (2), dos valores de M_{gi}^j ($j=1, 2, \dots, m$)

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j = \left(\sum_{i=1}^n l_i, \sum_{i=1}^n m_i, \sum_{i=1}^n u_i \right) \quad (9)$$

em seguida, o cálculo do inverso do vetor na Eq. (9) é

$$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n l_i} \right). \quad (10)$$

(ii) O grau da possibilidade de $M_2 = (l_1, m_1, u_1) \geq M_1 = (l_2, m_2, u_2)$ é definido como

$$V(M_2 \geq M_1) = \begin{cases} 1, & \text{se } m_2 \geq m_1 \\ 0, & \text{se } l_1 \geq u_2 \\ (l_1 - u_2) / ((m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)) \end{cases} \quad (11)$$

onde d é a ordenada do ponto entre μ_{M_1} e μ_{M_2} em que a altura D é máxima (figura 4.4). Para comparar M_1 e M_2 , necessita-se de ambos os valores de $V(M_1 \geq M_2)$ e $V(M_2 \geq M_1)$.

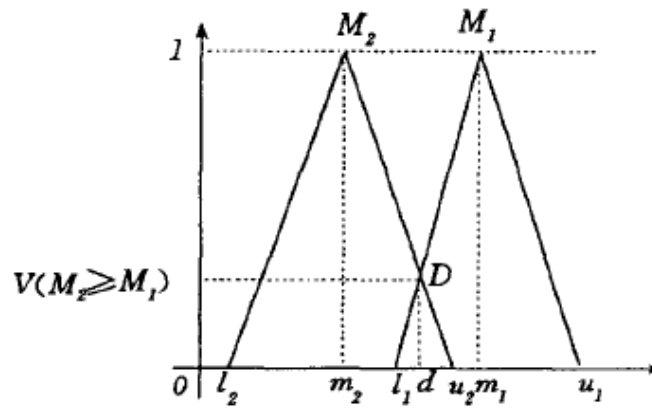


Figura 4.4 – Interseção entre \tilde{M}_1 e \tilde{M}_2 .
Fonte: Chang (1996).

(iii) O grau de possibilidade para que um número *fuzzy* triangular convexo seja maior que k números *fuzzy* triangular convexo M_i ($i=1, 2, \dots, k$) pode ser definido por

$$V(M \geq M_1, M_2, \dots, M_k) = \min V(M \geq M_i), \quad i = 1, 2, 3, \dots, k. \quad (12)$$

Assumindo que

$$d'(A_i) = \min V(S_i \geq S_k) \quad (13)$$

para $k = 1, 2, \dots, n; k \neq i$. Logo, o vetor peso é dado por

$$W' = (d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n))^T \quad (14)$$

onde A_i ($i = 1, 2, \dots, n$) são n elementos.

(iv) A última etapa consiste na normalização de W' , resulta no vetor de pesos normalizado

$$W = (d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n))^T \quad (15)$$

onde os elementos de W são números *crisp* (ou seja, não são números *fuzzy*).

4.4.

Descrição detalhada do modelo

Descrivem-se nesta seção as etapas que integram o modelo em foco, conforme figura 4.2.

4.4.1.

Etapla 1: Definição dos requisitos dos clientes (RCs) e associação com os requisitos de projeto (RPs)

A partir da análise das condicionantes doutrinárias e operacionais do desenvolvimento de um determinado produto de defesa, definem-se e agrupam-se os requisitos dos clientes (RCs), por consulta direta a futuros usuários do produto em foco.

Já os requisitos de projeto (RPs) deverão ser definidos e agrupados mediante consulta a integrantes das equipes de P&D e de engenharia envolvidos neste desenvolvimento, à luz das normas técnicas aplicáveis.

Uma vez definidos os diagramas relacionais dos requisitos dos clientes (RCs) e dos requisitos de projeto (RPs), procede-se à primeira etapa da construção da “*House of Quality*” (HoQ).

4.4.2.

Etapla 2: Determinação dos graus de importância dos RCs, com termos linguísticos

Nesta etapa, os requisitos dos clientes (RCs) são submetidos aos usuários em potencial, a fim de se obter a matriz de comparação pareada dos RCs, a partir de um julgamento sobre o grau de importância dos RCs, sendo usados os termos linguísticos, com números *fuzzy* triangulares, apresentados na tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Graus de importância em escalas *fuzzy*, segundo Saaty (1996)

Escala linguística para determinação do grau de importância		Escala <i>fuzzy</i> triangular			Escala recíproca		
		<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>
N	Igual importância	1	1	1	1	1	1
IP	Fraca importância	1/2	1	1 1/2	2/3	1	2
MP	Moderada importância	1	1 1/2	2	1/2	2/3	1
FP	Forte importância	1 1/2	2	2 1/2	2/5	1/2	2/3
MFP	Muito forte importância	2	2 1/2	3	1/3	2/5	1/2
AP	Absoluta importância	2 1/2	3	3 1/2	2/7	1/3	2/5

Fonte: Saaty (1996). Adaptado pelo autor.

Por definição, o número *fuzzy* triangular (1, 1, 1) é utilizado quando dois atributos são considerados igualmente importantes (nível de importância igual a 1 na escala de Saaty).

Com a matriz de comparação pareada, obtém-se o autovetor w_1 , calculado a partir dos graus de importância dos requisitos dos clientes (RCs), mediante análise expandida do método *fuzzy* AHP. Do mesmo modo, os pesos relativos de W_2 , W_3 e W_4 são obtidos.

4.4.3.

Etapla 3: Determinação dos graus de importância dos RPs em relação a cada RC, com termos linguísticos

Nesta etapa, determina-se os graus de importância dos requisitos de projeto (RPs) em relação a cada grupo de RCs, assumindo-se que não há dependência entre os RPs. Ou seja, para cada RC será gerada uma matriz, relacionando seus vínculos com os RPs.

Os cálculos dos graus de importância relativa dos RPs em relação a cada RC formam a matriz W_2 , apresentada de forma genérica no quadro 4.1.

Quadro 4.1 – Matriz W_2 de comparação pareada dos requisitos dos clientes

W_2	RC1	RC2	...	RCn
RP1	W_{11}	W_{12}	...	W_{1n}
RP2	W_{21}	W_{22}	...	W_{2n}
...
RPm	W_{m1}	W_{m2}	...	W_{mn}

Fonte: Elaboração própria.

4.4.4.

Etapla 4: Construção da matriz de interdependência dos RCs, com termos linguísticos

Constrói-se nesta etapa a matriz W_3 de interdependência (ou dependências internas) entre os requisitos dos clientes (RCs). Para tal, faz-se necessário determinar a interdependência entre os RCs em relação a cada RC, indicando o grau de importância relativa entre eles, conforme matriz genérica na tabela 4.2 a seguir.

Tabela 4.2 – Matriz Importância relativa dos RCs para o Requisito do Cliente RCi

RCi	RC1			...			RCn		
	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>
RC1	1	1	1	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	1	1	1	...	...	...
RCn	...	...	...	...	...	...	1	1	1

Fonte: Elaboração própria.

4.4.5.

Etapla 5: Construção da matriz de interdependência dos RPs, com termos linguísticos

Como na etapa anterior, a construção da matriz de interdependência entre os requisitos de projeto RPs, dá-se de forma análoga e a partir das dependências internas entre os RPs. Os graus de importância relativa são determinados para cada RP.

Por fim, a matriz W_4 de dependência interna entre os RPs é preenchida com os autovetores, dados pelos pesos das importâncias relativas.

4.4.6.

Etapla 6: Priorização interna dos RCs

Nessa etapa, as prioridades interdependentes dos requisitos dos clientes são geradas através do cálculo de w_C , Eq. (16).

$$w_C = W_3 \times w_1 \quad (16)$$

4.4.7.

Etapla 7: Priorização interna dos RPs

Nessa etapa, as prioridades interdependentes dos requisitos de projeto RPs são obtidas pela Eq. (17):

$$W_A = W_4 \times W_2 \quad (17)$$

4.4.8.

Etapla 8: Priorização final dos RPs à luz dos RCs

Finalmente, as prioridades gerais dos requisitos de projeto w^{ANP} , que indica percentualmente o peso dos relacionamentos internos para os RPs, é obtida por

$$w^{ANP} = W_A \times w_C. \quad (18)$$

5

Demonstração da aplicabilidade do modelo no âmbito do Projeto COBRA 2020: projeto de um monóculo de visão térmica

Visando demonstrar a aplicabilidade do modelo conceitual apresentado no capítulo 4, apresentam-se e discutem-se os resultados do estudo empírico desenvolvido no âmbito do Projeto COBRA 2020, tendo como foco o projeto de um novo monóculo de visão térmica. Busca-se demonstrar com os resultados deste estudo a aplicabilidade do modelo conceitual proposto.

5.1.

Escolha do projeto de um novo produto de defesa no âmbito do Projeto COBRA 2020: monóculo de visão térmica

O Exército Brasileiro possui em seu planejamento estratégico projetos de grande vulto que visam promover a melhoria de suas capacidades operativas. Dentre as suas prioridades estratégicas tem-se o projeto do Combatente Brasileiro do Futuro, o projeto COBRA 2020, que tem foco no aprimoramento de sua capacidade individual de combate.

Para promover este aprimoramento, o Programa e Desenvolvimento do Projeto COBRA combatente individual para que sua superioridade no enfrentamento se estabeleça de o soldado combatente individual participar da guerra centrada em redes, por meio de um sistema de enlace de dados que possibilite aos combatentes transmitir, para o escalão superior, a localização de alvos.

Conforme abordado no capítulo 3, o Projeto COBRA 2020 abrange centenas de itens, em função de suas variadas versões para emprego nos variados ambientes operacionais. Entre eles, o monóculo de visão térmica que se constitui em um dos mais importantes produtos de defesa para as missões do combatente individual.

Este PRODE foi selecionado como objeto de aplicação empírica do modelo aqui proposto, por serem observadas as seguintes condições:

- Apresentar vasta quantidade de informações a respeito do equipamento no mercado;
- Estar na fase de concepção dos requisitos operacionais para o combatente, que no modelo figuram como requisitos dos clientes (RCs), e, posteriormente na concepção dos RPs;
- Apresentar linha de pesquisa no Centro Tecnológico do Exército, com especialistas dedicados ao desenvolvimento de um monóculo de visão térmica que atenda aos requisitos para o Projeto COBRA 2020.

5.2.

Estudo empírico referente ao projeto de um novo monóculo de visão térmica

Nesta seção, apresentam-se e discutem-se os resultados do desenvolvimento de um estudo empírico referente ao projeto de um novo monóculo de visão térmica, seguindo-se as oito etapas do modelo conceitual apresentado no capítulo anterior.

5.2.1

Etapla 1: Definição dos requisitos dos clientes (RCs) e associação com os requisitos de projeto (RPs)

A definição dos requisitos dos clientes (RCs) do monóculo de visão térmica teve como ponto de partida a consulta ao documento publicado no Boletim do Exército, intitulado “Requisitos Operacionais Conjuntos - ROC 10/2012”, que apresenta as expectativas dos futuros usuários (combatentes) para o produto em foco (Ministério da Defesa, 2012). Cabe destacar que a definição dos requisitos operacionais conjuntos alinhou-se às “Condicionantes Doutrinárias e Operacionais” (CONDOP) aplicáveis aos desenvolvimentos previstos no âmbito do Projeto COBRA 2020.

A partir dessa referência, promoveu-se uma revisão dos RCs para fins de atualização e sua consolidação em um total de 19 requisitos que descrevem a demanda do combatente.

No Apêndice 1 desta dissertação, apresenta-se a descrição dos requisitos dos clientes e respectivas necessidades operacionais, conforme reportado nos ROC 10/2012, que se encontram em vigor no Exército Brasileiro.

Para fins de aplicação nesta pesquisa, os requisitos do ROC foram agrupados em quatro grandes categorias de requisitos dos clientes (RCs), como segue:

- RC1 – Funcionalidades;
- RC2 – Facilidade de uso;
- RC3 – Durabilidade;
- RC4 – Possibilidade de acoplamentos.

De acordo com as “Instruções Gerais para a Gestão do Ciclo de Vida dos Sistemas e Materiais de Emprego Militar” (EB10-IG-01.018), o gerente do Projeto COBRA 2020 deve promover com os especialistas de engenharia a elaboração dos “Requisitos Técnicos, Logísticos e Industriais” (RTLI), a partir do requisitos operacionais contido no ROC já mencionados. Estes RTLI definem quais as condições técnicas de projeto devem ser atendidas à luz de normas técnicas internacionais, que preferencialmente são específicas para a aplicação militar.

No Apêndice 1 desta dissertação, apresenta-se a descrição detalhada apenas dos requisitos técnicos contidos nos “Requisitos Técnicos, Logísticos e Industriais” (RTLI), propostos no Exército Brasileiro. Esse RTLI. Essa lista contém 46 requisitos mandatórios, em conformidade com normas técnicas aplicáveis, além de outras informações técnicas relevantes para o planejamento do novo monóculo de visão térmica.

Com o objetivo de definir os requisitos de projeto, foram tomados como base os subsistemas que estão definidos no projeto do monóculo de imagem térmica do Centro Tecnológico do Exército, que, por sua vez, alinham-se ao conjunto de requisitos dos RTLI mencionados.

A figura 5.1 apresenta uma estrutura analítica simplificada do projeto de um monóculo de visão térmica e seus subsistemas (excluindo acessórios) que foi concebida pelos especialistas em Optrônica, integrantes da equipe de pesquisa deste PRODE no Centro Tecnológico do Exército.

Portanto, para fins de aplicação neste estudo empírico, os requisitos de projeto (RPs) definidos pelos cinco subsistemas do monóculo de visão térmica apresentados na figura 5.1 são:

- RP1 – Requisitos do corpo do monóculo;
- RP2 – Requisitos da objetiva I (modo básico);
- RP3 – Requisitos do sistema de processamento e controle;
- RP4 – Requisitos da ocular;
- RP5 – Requisitos do sistema LCD.

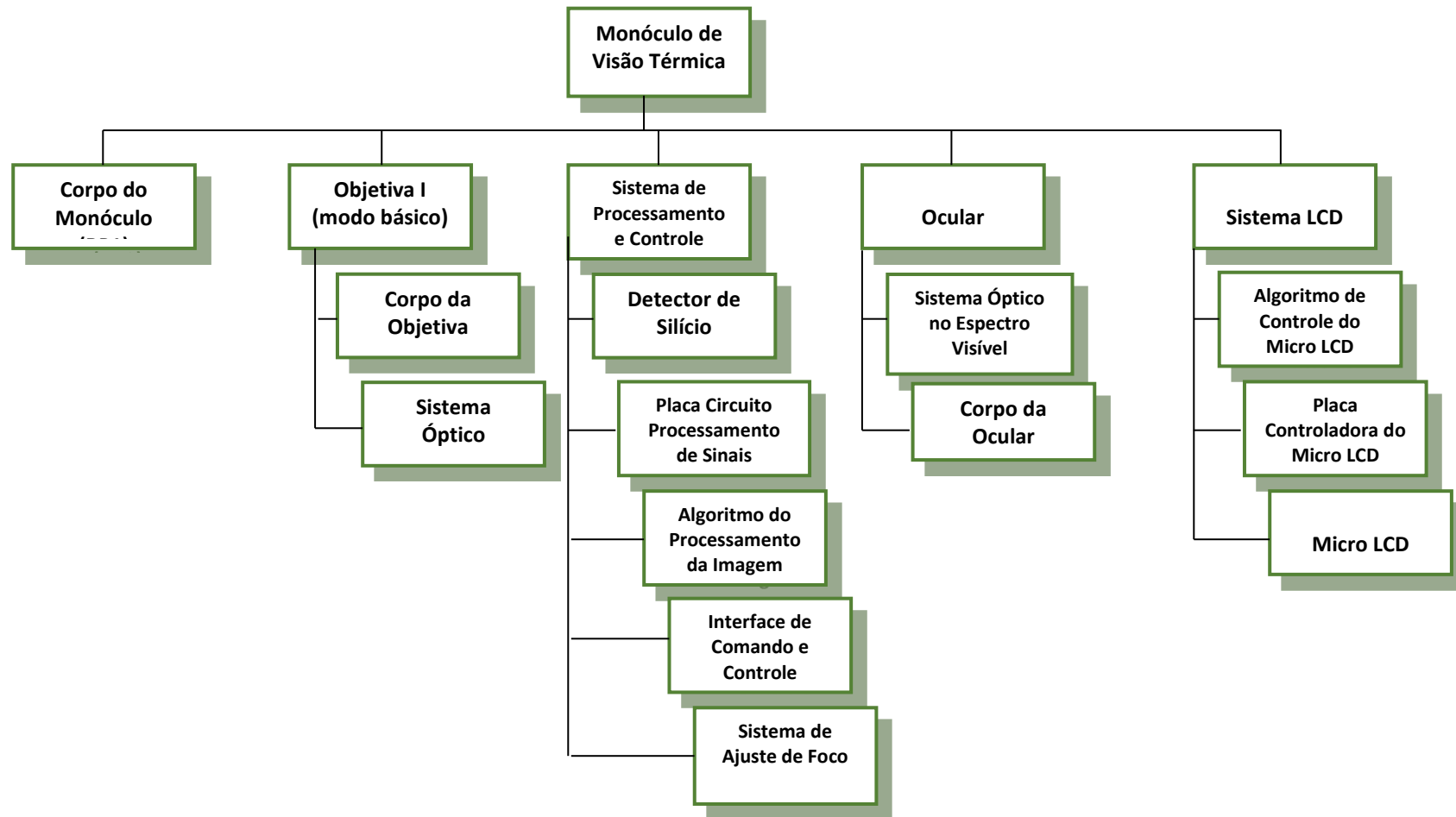


Figura 5.1 – Estrutura analítica do projeto de um monóculo de visão térmica no contexto do Projeto COBRA 2020
 Fonte: Elaboração própria, a partir de consulta a especialistas em Optrônica do CTEEx.

Definidos os requisitos dos clientes (RCs) e os requisitos de projeto (RPs), pode-se iniciar a construção da HoQ, que indica as relações em potencial do projeto com as demandas dos futuros usuários em consonância com as condicionantes doutrinárias e operacionais e as especificidades do contexto institucional do desenvolvimento deste produto.

Realizou-se para tal um levantamento dos graus de importância para os RCs e para os RPs, atribuídos, respectivamente, por futuros usuários do novo monóculo e por especialistas em Optrônica do CTEx.

Com base no formulário apresentado no Apêndice 3 desta dissertação, os futuros usuários consultados indicaram o grau de importância relativa entre os RCs. Já no formulário constante do Apêndice 4, os especialistas técnicos realizaram julgamentos sobre a importância relativa entre os RPs, bem como indicaram as interações entre os RCs e RPs, conforme consolidado no quadro 5.1, a seguir.

Quadro 5.1 – Requisitos dos clientes (RCs) associados aos requisitos de projeto (RPs) do monóculo de visão térmica

Requisitos dos clientes (RCs)	Requisitos de projeto (RPs)				
	RP1 Requisitos do corpo do monóculo	RP2 Requisitos da objetiva I (modo básico)	RP3 Requisitos do sistema de processamento e controle	RP4 Requisitos da ocular	RP5 Requisitos do sistema LCD
RC1 Funcionalidades		X	X	X	X
RC2 Facilidade de uso	X	X		X	X
RC3 Durabilidade	X	X		X	
RC4 Possibilidade de acoplamentos	X				

Fonte: Elaboração própria, com base na consulta a especialistas em Optrônica do CTEx e futuros usuários militares do novo monóculo de visão térmica.

5.2.2

Etapla 2: Determinação dos graus de importância dos RCs, com termos linguísticos

Para aplicar o modelo conceitual proposto no capítulo 4, foram utilizados termos linguísticos, com números *fuzzy* triangulares (ver tabela 4.1).

Assumindo-se que não há dependência entre os RCs, a matriz de comparação pareada dos requisitos dos clientes foi avaliada segundo os termos linguísticos

estabelecidos a partir dos dados coletados pelo julgamentos dos especialistas (Apêndice 3). Assim, o elemento 1x1 compara a importância de RC1 sobre RC1 que por definição é “igual importância” (1, 1, 1). Por sua vez o elemento 1x2 compara a importância de RC1 sobre RC2, avaliada como “forte importância” (1,5, 2, 2,5). O julgamento de todas as comparações resulta na tabela 5.1.

Tabela 5.1 – Comparação pareada dos requisitos dos clientes (RCs) do monóculo de visão térmica

RCs	RC1			RC2			RC3			RC4		
	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>
RC1	1	1	1	1 1/2	2	2 1/2	1/2	1	1 1/2	2	2 1/2	3
RC2	2/5	1/2	2/3	1	1	1	1/2	2/3	1	2	2 1/2	3
RC3	2/3	1	2	1	1,5	2	1	1	1	2	2 1/2	3
RC4	1/3	2/5	1/2	1/3	2/5	1/2	1/3	2/5	1/2	1	1	1

Fonte: Elaboração própria.

A partir da matriz de comparação pareada, pode-se obter o autovetor w_1 , calculado a partir dos graus de importância dos requisitos dos clientes (RCs), resultado da aplicação da Eq. (15), mediante análise expandida do método *fuzzy* AHP, abordada no capítulo 4.

$$w_1 = \begin{pmatrix} \text{Funcionalidades} \\ \text{Facilidade de uso} \\ \text{Durabilidade} \\ \text{Possibilidade de acoplamentos} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,3927 \\ 0,2451 \\ 0,3622 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Devido ao grande número de interações optou-se por determinar os pesos relativos de cada matriz de comparação pareada, por intermédio do algoritmo desenvolvido na plataforma Matlab, constante do Apêndice 5 deste trabalho.

5.2.3

Etapla 3: Determinação dos graus de importância dos RPs em relação a cada RC, com termos linguísticos

Nesta etapa, assume-se que não há dependência entre os RPs, e determinam-se os graus de importância dos cinco grupamentos de requisitos de projeto em relação a cada grupo de RCs.

A tabela 5.2 apresenta a comparação pareada entre RP2, RP3, RP4 e RP5, alternativas relacionadas ao critério ‘funcionalidades RC1’. A coluna *pesos da importância relativa* contém o autovetor de pesos, calculados conforme exposto no item 5.2.3.

Tabela 5.2 – Importância relativa dos RPs para funcionalidades (RC1)

RC1	RP2			RP3			RP4			RP5			Pesos da importância relativa
	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	
RP2	1	1	1	2/5	1/2	2/3	1/2	1	1 1/2	2	2 1/2	3	0,2271
RP3	1 1/2	2	2 1/2	1	1	1	2	2 1/2	3	2	2 1/2	3	0,5284
RP4	2/3	1	2	1/3	2/5	1/2	1	1	1	2	2 1/2	3	0,2445
RP5	1/3	2/5	1/2	1/3	2/5	1/2	1/3	2/5	1/2	1	1	1	0

Da maneira análoga, determina-se o grau de importância dos demais RPs com relação a RC2, RC3 e RC4, apresentados nas tabelas 5.3, 5.4 e 5.5, respectivamente.

Tabela 5.3 – Importância relativa dos RPs para facilidades de uso (RC2)

RC2	RP1			RP2			RP4			RP5			Pesos da importância relativa
	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	
RP1	1	1	1	2/5	1/2	2/3	1/2	2/3	1	1/2	2/3	1	0,0684
RP2	1 1/2	2	2 1/2	1	1	1	1/2	1	1 1/2	2	2 1/2	3	0,4264
RP4	1	1 1/2	2	2/3	1	2	1	1	1	2	2 1/2	3	0,3945
RP5	1	1 1/2	2	1/3	2/5	1/2	1/3	2/5	1/2	1	1	1	0,1107

Tabela 5.4 – Importância relativa dos RPs para durabilidade (RC3)

RC3	RP1			RP2			RP4			Pesos da importância relativa
	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	
RP1	1	1	1	2/5	1/2	2/3	1/2	2/3	1	0,1668
RP2	1 1/2	2	2 1/2	1	1	1	1/2	1	1 1/2	0,4405
RP4	1	1 1/2	2	2/3	1	2	1	1	1	0,3926

Tabela 5.5 – Importância relativa dos RPs para possibilidade de acoplamento (RC4)

RC4	RP1			Pesos da importância relativa
	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	
RP1	1	1	1	1

Os cálculos dos graus de importância relativa dos RPs em relação a cada RC permite formar a matriz W_2 apresentada na tabela 5.6 a seguir.

Tabela 5.6 – Matriz W_2 de comparação pareada dos requisitos dos clientes

W_2	RC1	RC2	RC3	RC4
RP1	0	0,068	0,167	1
RP2	0,227	0,426	0,441	0
RP3	0,528	0	0	0
RP4	0,245	0,395	0,393	0
RP5	0	0,111	0	0

5.2.4

Etapa 4: Construção da matriz de interdependência dos RCs, com termos linguísticos

Nesta etapa a interdependência entre os requisitos é considerada. A figura 5.2 ilustra a interdependência entre os RCs atribuída para a formulação do modelo em estudo, onde, por exemplo, pode-se observar que ‘*Funcionalidades*’ (RC1) está sob ‘*Durabilidade*’ (RC3) e ‘*Acoplamentos*’ (RC4).

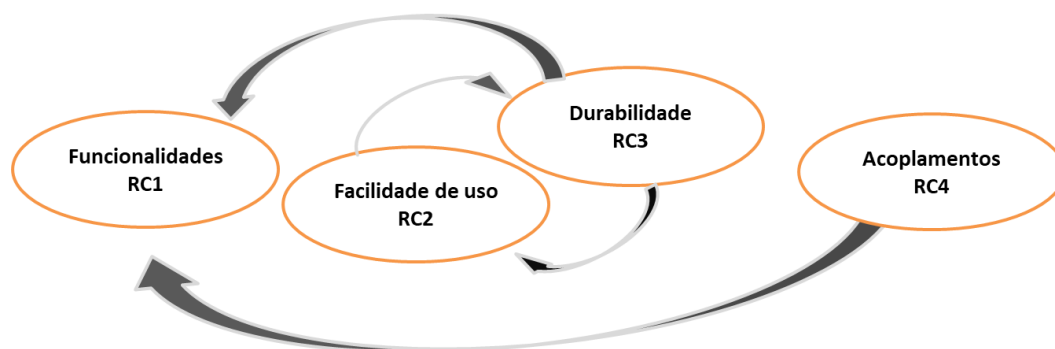


Figura 5.2 – Dependência interna entre os requisitos dos clientes

Fonte: Elaboração própria, com base na consulta a futuros usuários do novo monóculo de visão térmica.

A partir das dependências internas ou (interdependências) entre os RCs, apresentadas na figura 5.2, os graus de importância relativa foram calculados para RC1 e apresentados na tabela 5.7, a seguir. Para RC2, os resultados encontram-se reportados na tabela 5.8 e para RC3 na tabela 5.9.

Tabela 5.7 – Matriz Importância relativa dos RCs para durabilidade (RC1)

RC1	RC1			RC3			RC4			Pesos da importância relativa
	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	
RC1	1	1	1	1/2	1	1 1/2	2	2 1/2	3	0,5
RC3	2/3	1	2	1	1	1	2	2 1/2	3	0,5
RC4	1/3	2/5	1/2	1/3	2/5	1/2	1	1	1	0

Tabela 5.8 – Matriz Importância relativa dos RCs para durabilidade (RC2)

RC2	RC2			RC3			RC4			Pesos da importância relativa
	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	
RC2	1	1	1	1/2	2/3	1	2	2 1/2	3	0,43
RC3	1	1,5	2	1	1	1	2	2 1/2	3	0,57
RC4	1/3	2/5	1/2	1/3	2/5	1/2	1	1	1	0

Tabela 5.9 – Matriz Importância relativa dos RCs para durabilidade (RC3)

RC3	RC2			RC3			Pesos da importância relativa
	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	
RC2	1	1	1	1/2	2/3	1	0,33
RC3	1	1,5	2	1	1	1	0,67

Finalmente, a matriz W_3 de dependência interna entre os RCs é formada e apresentada na tabela 5.10. A coluna referente a *acoplamentos* RC4 é nula porque esse critério não está sob os demais RCs.

Tabela 5.10 – Matriz de Interdependência de RCs

W_3	RC1	RC2	RC3	RC4
RC1	1/2	0	0	0
RC2	0	3/7	1/3	0
RC3	1/2	4/7	2/3	0
RC4	0	0	0	0

5.2.5

Etapa 5: Construção da matriz de interdependência dos RPs, com termos linguísticos

Como na etapa anterior, a determinação da matriz de interdependência entre os requisitos de projeto foi representada esquematicamente na figura 5.3.

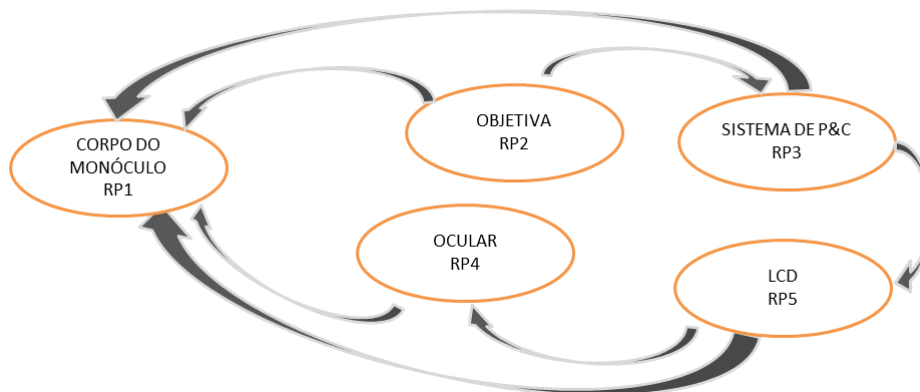


Figura 5.3 – Dependência interna entre os requisitos de projeto

Fonte: Elaboração própria, com base na consulta a especialistas em Optrônica do CTEx.

A partir da definição das dependências internas entre os RPs apresentadas na representação esquemática da figura 5.3, calcularam-se os graus de importância relativa entre os RPs, conforme resultados apresentados nas tabelas 5.11 a 5.15.

Tabela 5.11 – Matriz de dependência interna dos RPs em relação a RP1 - corpo do monóculo

RP1	RP1			RP2			RP3			RP4			RP5		
	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>
RP1	1	1	1	2/5	1/2	2/3	2/5	1/2	2/3	1/2	1/2	1/2	1/2	1	1/2
RP2	1/2	2	2 1/2	1	1	1	2/5	1/2	2/3	1/2	1	1/2	2	2 1/2	3
RP3	1/2	2	2 1/2	1 1/2	2	2 1/2	1	1	1	2	2 1/2	3	2	2 1/2	3
RP4	1	1 1/2	2	2/3	1	2	1/3	2/5	1/2	1	1	1	2	2 1/2	3
RP5	1	1 1/2	2	1/3	2/5	1/2	1/3	2/5	1/2	1/3	2/5	1/2	1	1	1

A partir das dependências internas ou (interdependências) entre os RPs apresentados na figura 5.2, os graus de importância relativa foram calculados para o RP1 e apresentados na tabela 5.11. Para o RP3 na tabela 5.12, para o RP4 na tabela 5.13 e para o RP5 na tabela 5.14.

Tabela 5.12 – Matriz de dependência interna dos RPs em relação a RP3 - sistema de processamento e controle

RP3	RP2			RP3		
	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>
RP2	1	1	1	2/5	1/2	2/3
RP3	1 1/2	2	2 1/2	1	1	1

Tabela 5.13 – Matriz de dependência interna dos RPs em relação a RP4 - ocular

RP4	RP4			RP5		
	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>
RP4	1	1	1	2	2 1/2	3
RP5	1/3	2/5	1/2	1	1	1

Tabela 5.14 – Matriz de dependência interna dos RPs em relação a RP5 - sistema LCD

RP5	RP3			RP5		
	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>
RP3	1	1	1	2	2 1/2	3
RP5	1/3	2/5	1/2	1	1	1

Por fim, a matriz de dependência interna entre os RPs W_4 é preenchida com os autovetores que contêm os pesos das importâncias relativas calculadas, retratados na tabela 5.15.

Tabela 5.15 – Matriz dos pesos das importâncias relativas para os RPs

W_4	RP1	RP2	RP3	RP4	RP5
RP1	0,030	0	0	0	0
RP2	0,273	0	0	0	0
RP3	0,448	0	1	0	1
RP4	0,248	0	0	1	0
RP5	0	0	0	0	0

5.2.6

Etapla 6: Priorização interna dos RCs

Nessa etapa, as prioridades interdependentes dos requisitos dos clientes são obtidas através do cálculo de w_C , Eq. (16).

$$w_C = W_3 \times w_1 = \begin{pmatrix} 0,1964 \\ 0,2200 \\ 0,5836 \\ 0 \end{pmatrix}$$

5.2.7

Etapa 7: Priorização interna dos RPs

Nessa etapa, as prioridades interdependentes dos requisitos de projeto (RPs) foram obtidas com a Eq. (17):

$$W_A = W_4 \times W_2 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,0187 & 0,0456 & 0,2732 \\ 0,5284 & 0,1414 & 0,0748 & 0,4483 \\ 0,2445 & 0,4115 & 0,4340 & 0,2484 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

5.2.8

Etapa 8: Priorização final dos RPs à luz dos RCs

As prioridades finais dos requisitos de projeto RPs, w^{ANP} , refletindo os relacionamentos internos dentro da casa da qualidade (HoQ), foram calculados conforme a Eq. (18):

$$w^{ANP} = W_A \times w_C = \begin{pmatrix} 0,0034 \\ 0,0307 \\ 0,1785 \\ 0,3919 \\ 0 \end{pmatrix}$$

O vetor w^{ANP} indica percentualmente o peso a prioridade entre os requisitos, conforme apresentado na tabela 5.16 a seguir.

Tabela 5.16 – Priorização final para os RPs, por *fuzzy*-ANP

Requisitos de Projeto	Importância relativa	Prioridade final
Corpo do monóculo	0,0034	4º
Objetiva I (modo básico)	0,0307	2º
Sistema de processamento e controle	0,1785	3º
Ocular	0,3919	1º
Sistema LCD	0	5º

Fonte: Elaboração própria.

5.3.

Discussão dos resultados

Conforme pode ser observado na tabela 5.16, o resultado da análise *fuzzy*-ANP indicou que os requisitos de projeto da *Ocular* foram considerados os mais importantes dentre os demais, com o valor de importância relativa de 39%. Na segunda posição os do *Sistema de Processamento e Controle* com o valor de 18%, na terceira posição os requisitos de projeto da *Objetiva*. Por fim, os requisitos do *Sistema LCD* foram considerados os menos importantes.

Esses resultados subsidiarão a priorização dos respectivos subsistemas na ordem em que foram classificados. Isto também abrangerá os componentes dos respectivos subsistemas, que estão indicados na Estrutura Analítica do Projeto, apresentada na figura 5.1.

Priorizar um subsistema em detrimento de outro é determinar que os requisitos das normas técnicas aplicáveis, dimensões e ergonomia devam ser priorizadas em relação às demais. Esta concepção aproxima do ideal o desempenho do produto desenvolvido às condições desejadas inicialmente pelos futuros usuários.

5.4.

Diferenciais do modelo em relação às práticas correntes de definição e priorização de requisitos de projeto de novos produtos de defesa

Estabelecer a importância relativa dos requisitos de projeto à luz dos requisitos dos clientes é uma questão fundamental para o desenvolvimento de produtos. O uso da HoQ tem se mostrado presente em muitas aplicações, como foi verificado nos trabalhos analisados na fase de revisão bibliográfica desta pesquisa. No entanto, a utilização da escala de números *fuzzy*, ao invés da escala de *Saaty* tradicional, é um procedimento capaz de considerar o alto grau de subjetividade presente na determinação das importâncias relativas envolvendo os RPs e RCs. A HoQ aborda o relacionamento simétrico ou assimétrico envolvendo os RPs e RCs. De forma complementar, o método ANP insere em sua abordagem, as dependências internas entre os requisitos.

Na modelagem aqui proposta, as interdependências são inseridas no processo por intermédio das matrizes W_3 e W_4 . Caso estas fossem desconsideradas, o método

se reduziria à aplicação *fuzzy*-AHP. Ao efetuar uma modelagem comparativa, Eq. (19), encontrou-se o seguinte resultado:

$$w^{AHP} = W_2 \times w_1 = \begin{pmatrix} 0,0772 \\ 0,3533 \\ 0,2073 \\ 0,3354 \\ 0,0272 \end{pmatrix}$$

A abordagem via AHP obteve prioridades diferentes das calculadas via *fuzzy*-ANP, por não serem consideradas as interdependências entre os requisitos. Essas prioridades via *fuzzy*-AHP são apresentadas na tabela 5.17, a seguir.

Tabela 5.17 – Priorização final para os RPs, por *fuzzy*-AHP

Requisitos de Projeto	Importância relativa	Prioridade final
Corpo do monóculo	0,0772	4º
Objetiva I (modo básico)	0,3533	1º
Sistema de processamento e controle	0,2073	3º
Ocular	0,3354	2º
Sistema LCD	0,0272	5º

Fonte: Elaboração própria

Pode-se afirmar que o modelo conceitual aplicado neste estudo empírico baseado na abordagem *fuzzy*-ANP permite realizar uma priorização mais realista para os requisitos de projeto (RPs) à luz dos requisitos dos clientes (RCs), do que com a alternativa metodológica *fuzzy*-AHP. Portanto, levando-se em conta que os produtos de defesa estão sujeitos a normas rígidas, que priorizam conceitos operacionais, o modelo proposto baseado na abordagem *fuzzy*-ANP deve ser o adotado.

Ainda que a modelagem proposta tenha simplificado o número de RPs e de RCs, agrupando-os um número menor de entradas, cabe ressaltar que o modelo não impõe limitações nesse sentido. O agrupamento de requisitos, desde que condicionado a um mesmo subsistemas do projeto, não compromete a adoção do modelo como apoio à tomada de decisão pelos gestores do Projeto, uma vez que as priorizações finais situam-se no próprio domínio do subsistema.

6 Conclusões

A presente pesquisa contribuiu para o avanço do conhecimento sobre a aplicação da abordagem *fuzzy* ANP-QFD em projetos de novos produtos de defesa. Nesse sentido, um modelo conceitual foi desenvolvido, integrando a referida abordagem ao método *Analytic Network Process* (ANP) e à lógica *fuzzy*, conferindo ao modelo diferenciais em relação às práticas correntes de definição e priorização de requisitos de projeto de novos produtos de defesa.

Os resultados obtidos ao longo da pesquisa aqui relatada permitiram que o objetivo geral da dissertação fosse alcançado.

O referencial teórico apresentado no capítulo 2 fundamentou o desenvolvimento e a aplicação do modelo para definição e priorização de requisitos de projeto de novos produtos de defesa, à luz dos requisitos dos clientes, contribuindo de forma significativa para que os objetivos específicos da dissertação fossem alcançados.

Pelos aspectos descritos e resultados gerados na fase aplicada da pesquisa, considera-se que eles propiciaram ao CTEx, particularmente ao Gerente do Projeto COBRA 2020 e à equipe de desenvolvimento de novos PRODE no âmbito deste Projeto, o ferramental adequado para a definição e priorização de requisitos de projeto, conforme proposto no capítulo 4. Cabe ressaltar que até o momento a metodologia utilizada pelo Exército Brasileiro para a seleção e priorização de requisitos de projeto de novos produtos de defesa não prevê o uso de métodos multicritério de apoio à decisão.

A pesquisa documental permitiu ainda identificar seis Projetos Combatentes do Futuro em cinco países europeus e nos Estados Unidos da América, visando demonstrar o potencial de aplicação da abordagem *fuzzy* ANP-QFD em projetos de novos produtos de defesa, além daqueles do Projeto COBRA 2020. A lacuna identificada no contexto institucional das Forças Armadas no Brasil revelou uma

oportunidade de investigação neste campo de aplicação, com grande potencial de replicação em projetos de novos produtos de defesa no país e até no exterior.

O estudo empírico desenvolvido no âmbito do Projeto COBRA 2020 permitiu demonstrar a aplicabilidade do modelo proposto, com resultados relevantes em cada uma de suas etapas. A priorização final dos requisitos de projeto (RPs) à luz dos requisitos dos clientes (RCs) indicou que: (i) os requisitos de projeto da Ocular (RP4) ficaram em primeiro lugar; (ii) os requisitos de projeto da Objetiva I (modo básico) em segundo lugar; (iii) os requisitos de projeto do sistema de processamento e controle (RP3), em terceiro lugar; (iv) os requisitos de projeto do corpo do monóculo (RP1), em quarto lugar; e (v) por último, os requisitos de projeto do sistema LCD (RP5).

Destacam-se os aspectos inovadores do modelo baseado na abordagem *fuzzy* ANP-QFD para projetos de novos produtos de defesa, a saber:

- o uso da metodologia com a abordagem proposta contribuirá para garantir o atendimento aos requisitos de dualidade conferidos a alguns produtos de defesa, desde a sua concepção;
- como ferramenta de apoio em priorização, poderá subsidiar a tomada de decisão nas situações em que se necessita definir entre o desenvolvimento ou a aquisição de subsistemas de um produto de defesa a ser concebido; e
- no domínio da prospecção de novas tecnologias para o desenvolvimento de novos produtos de defesa, poderá auxiliar na definição de adoção entre linhas de pesquisa multidisciplinares.

Para trabalhos futuros de desdobramento da pesquisa e aprofundamento dos resultados, propõem-se:

- Desenvolvimento e comparação de modelos QFD integrados a outros métodos multicritério de apoio à decisão e à lógica fuzzy, como fuzzy ELECTRE-QFD, fuzzy PROMETHEE-QFD; fuzzy VIKOR-QFD, dentre outros;
- Investigação de novas formas de se utilizar diferentes funções de pertinência, como trapezoidal e gaussiana, ao invés de números fuzzy triangulares (TFN);
- Estabelecimento do grau de importância dos requisitos de clientes e requisitos de projeto de outros PRODE no âmbito do Projeto COBRA 2020.

Referências bibliográficas

ABDOLSHAH, M.; MORADI, M. Fuzzy quality function deployment: an analytical literature review. **Journal of Industrial Engineering**, v. 2013, p. 1-11, 2013.

AKAO, Y. (Ed). **Quality function deployment**: integrating customer requirements into product design. Cambridge: Productivity Press, 1990.

AKAO, Y. **Introdução ao desdobramento da qualidade**. Série Manual de Aplicação do Desdobramento da Função Qualidade. v. 1. Belo Horizonte: Editora Fundação Christiano Ottoni, 187 p., 1996.

AKAO, Y.; MAZUR, G. H. The leading edge in QFD: past, present and future. **International Journal of Quality & Reliability Management**, v. 20, n. 1, p. 21-35, 2003.

ALTUN, K.; ZEDTWITZ, M.; DERELI, T. Multi-issue negotiation in quality function deployment: Modified Even-Swaps in new product development. **Computers & Industrial Engineering**, v.92, n.C, p.31-49, 2016.

AZADI, M.; SAEN, R.F. A combination of QFD and imprecise DEA with enhanced Russell graph measure: A case study in healthcare. **Socio-Economic Planning Sciences**, v. 47, n.4, p. 281-291, 2013.

BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. Lisboa: Edições 70, 1977.

BATISTA, D. A. **O uso da abordagem fuzzy para a integração das ferramentas QFD e SERVQUAL em Serviços de Saúde**. 2013. 127p. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Pernambuco. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Recife, 2013.

BAXTER, M. **Projeto de produto**: guia prático para o *design* de novos produtos. 3 ed. São Paulo: Blucher, 2011.

BOTTANI, E. A fuzzy QFD approach to achieve agility. **International Journal of Production Economics**, v. 119, n.3, p.380–391, 2009.

BRASIL. Ministério da Defesa. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Concepção Estratégica – Ciência Tecnologia e Inovação de Interesse da Defesa Nacional**. Brasília: MD/MCT, 2003.

BRASIL. Ministério da Defesa. **Estratégia Nacional de Defesa**. EM Interministerial nº 00437/MD/SAE-PR. Brasília, 17 de dezembro de 2008.

BRASIL. Ministério da Defesa. Exército Brasileiro – **Instruções gerais para a Gestão do Ciclo de Vida dos Materiais de Emprego Militar** (EB10-IG-01.018), 1ª Edição, 2016. Portaria nº 233, de 10 de Mar de 2016.

BRASIL. Ministério da Defesa. Exército Brasileiro. **Plano Estratégico do Exército 2016-2019**, integrante da Sistemática de Planejamento Estratégico do Exército (SIPLEX). Portaria nº 1.507, de 15 de dezembro de 2014.

BRASIL. Ministério da Defesa. Exército Brasileiro. **Projeto Combatente Brasileiro 2020. Escopo**. Brasília: MD, 2014.

CHAN, L.-K.; WU, M.-L. Quality function deployment: a literature review. **European Journal of Operational Research**, v. 143, n. 3, p. 463-497, 2002.

CHANG, D.Y. Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. **European Journal of Operational Research**, v.95, n.3, p.649-655, 1996.

CHEN, LIANG-HSUAN; WENG, MING-CHU; A fuzzy model for exploiting quality function deployment. **Mathematical and Computer Modelling**, v.38, p.559-570, 2003.

CHEN, LIANG-HSUAN; WENG, MING-CHU; An evaluation approach to engineering design in QFD processes using fuzzy goal programming models. **European Journal of Operational Research**, v.172, p.230-248, 2006.

CHEN, LIANG-HSUAN; KO, WEN-CHANG. A fuzzy nonlinear model for quality function deployment considering Kano's concept. **Mathematical and Computer Modelling**, v.48, p.581-593, 2008.

CHEN, LIANG-HSUAN; KO, WEN-CHANG. Fuzzy linear programming models for new product design using QFD with FME. **Applied Mathematical Modelling**, v.33, p.633-647, 2009.

CHEN, LIANG-HSUAN; KO, WEN-CHANG; Fuzzy linear programming models for NPD using a four-phase QFD activity process based on the means-end chain concept. **European Journal of Operational Research**, v.201, p.619-632, 2010.

CHEN, S-H; CHEN, F-Y; YEH, T-M. Integration Quality Function Deployment and Analytic Hierarchy Process methods to improve service quality. **American Journal of Food Technology**, v.10, n.2, p.85-92, 2015.

CHENG, L. C. QFD in product development: methodological characteristics and a guide for intervention. **International Journal of Quality e Reliability Management**. v. 20, n. 1, p. 107- 122, 2003.

CHENG, L.C.; MELO FILHO, L.D.R. **QFD: desdobramento da função qualidade na gestão de desenvolvimento de produtos**. São Paulo: E. Blucher 2007.

CLAUSING, D. **Total quality development**. New York: ASME Press, 506 p., 1994.

COOPER, R.; KLEINSCHMIDT, E. Winning businesses in product development: the critical success factors. **Research-Technology Management**, v. 50, n. 3, 2007.

CRAWFORD, C. **New product management**. Burr Ridge, Illinois: Irwin, 1997.

CRISTIANO, J. J.; LIKER, J.K.; WHITE, C.C. Customer-driven product development through quality function deployment in the U.S. and Japan. **Journal of Product Innovation Management**, v.17, n.4, p. p. 286-308, 2000.

DAI, J.; BLACKHURST, J. A four-phase AHP-QFD approach for supplier assessment: A sustainability perspective. **Int. J. Prod. Res.**, 50: 5474-5490, 2012.

DELICE, E. K.; GÜNGÖR, Z.; A new mixed integer linear programming model for product development using quality function deployment. **Computers & Industrial Engineering**, v.57, p.906-912, 2009.

FAVARETTO, R. **Modelo de aplicação de QFD no desenvolvimento de bebidas**. 2007. 96 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica/Gestão Qualidade Total). Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, 2007.

FORMAGGIO, I.; MIGUEL, P. Múltiplo estudo de casos sobre a inserção do QFD no processo de desenvolvimento de novos produtos. **Produto & Produção**, v.10, n.2, p 62-86, 2009.

FUNG, R. Y. K.; TANG, J.; TU, Y.; WANG, D. Product design resources optimization using a non-linear fuzzy quality function deployment model. **International Journal of Production Research**, v.40, n.3, p. 585-589, 2002.

GÜNGÖR, Z.; DELICE, S.E.; KESEN, E.K. New product design using FDMS and FANP under fuzzy environment. **Applied Soft Computing**, v. 11, n.11, p.3347-3356, 2011.

HAUSER, J.R.; CLAUSING, D. House of quality. **Harvard Business Review**, v. 66, p.63-7, 1988.

KAHRAMAN, C.; ERTAY, T.; BÜYÜKÖZKAN. G. A fuzzy optimization model for QFD planning process using analytic network approach. **European Journal of Operational Research**, v. 171, p. 390-411, 2006.

KING, R. Listening to the voice of the customer: using the quality function deployment system. **National Productivity Review**, v. 6, n. 3, p. 277-281, 1987.

LEE, Y.C.; SHEU, L.C.; TSOU, Y.G. Quality function deployment implementation based on fuzzy Kano model: an application in PLM system. **Computers and Industrial Engineering**, v.55, p.48–63, 2008.

LI, Y.; TANG, J-F.; LUO, X-G. A rough set approach for estimating correlation measures in quality function deployment. **Information Sciences**, v.189, p.126-142, 2012.

LIU, H-T. Product design and selection using fuzzy QFD and fuzzy MCDM approaches. **Applied Mathematical Modelling**, v.35, n.1, p. 482-496, 2011.

LIU, H-T. The extension of fuzzy QFD: from product design to part deployment. **Expert Systems with Applications**, v.36, p.11131–11144, 2009.

MARITAN, D. **Practical manual of quality function deployment**. Genebra: Springer International Publishing Switzerland, 2015.

MAYYAS, A.; SHEN, Q.; MAYYAS, A.; ABDELHAMID. M.; SHAN, D. QATTAWI, A.; OMAR, M. Using Quality Function Deployment and Analytical Hierarchy Process for material selection of Body-In-White, **Materials & Design**, v. 32, . A.; n.5, p. 2771-2782, 2011.

MELO FILHO, L. D. R. **Aplicação do método QFD em uma indústria de materiais: desdobramento da qualidade positiva e da tecnologia do processo de fabricação com o auxílio da técnica de planejamento e análise de experimentos**. 2005. 167 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção. Belo Horizonte. Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, 2005.

PRADO FILHO, H. V. **A transformação do Exército Brasileiro e o novo Sistema de Ciência, Tecnologia e Inovação do Exército**: contribuições para a Soberania Nacional. Rio de Janeiro: ESG, 2014.

ROCHA, H. **Fatores críticos de sucesso no processo de desenvolvimento de produtos**. 2009. 277f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica na área de Transmissão e Conversão de Energia). Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, São Paulo, 2009.

SAATY, T.L. **The analytic network process**: decision making with dependence and feedback. Pittsburgh: RWS Publications, 1996.

SAATY, T.L. **The analytic hierarchy process**. New York: McGraw-Hill, p.20-25, 1980.

SALOMON, V. A. P. Auxílio à decisão para a adoção de políticas de compras. **Produto e Produção**. vol. 6, n. 1, p. 01-08, 2002.

SARQUIS, A. B. et al. Aplicação do *Quality Function Deployment* no desenvolvimento de produtos: um estudo no setor de eletrodomésticos. **Revista Eletrônica Estratégia & Negócios**, v.5, n.2, p. 138-170, 2012.

SHARMA, J.R.; RAWANI, A.M.; BARAHATE, M. Quality function deployment: a comprehensive literature review. **International Journal of Data Analysis Techniques and Strategies**, v.1, n.1, p. 78-103, 2008.

RAHARJO, H.; BROMBACHER, A. C.; XIE, M.; Dealing with subjectivity in early product design phase: A systematic approach to exploit Quality Function Deployment potentials. **Computers & Industrial Engineering**, v.55, p.253-278, 2008.

TU, C.S.; CHANG, C.T.; CHEN, K.K.; LU, H.A. 2010. Applying an AHP-QFD conceptual model and zero-one goal programming to requirement-based site selection for an airport cargo logistics center. **International Journal of Information Management**, v.21, p.407-430, 2010.

VAIRAKTARAKIS, G. L; Optimization tools for design and marketing of new/improved products using the house of quality. **Journal of Operations Management**, v.17, p.645-663, 1999.

VANEGAS, L.V.; LABIB, A.W. A fuzzy quality function deployment (FQFD) model for deriving optimum targets. **International Journal of Production Research**, v.39, n.1, p. 99–120, 2001.

VERGARA, S. C. **Métodos de pesquisa em Administração**. São Paulo: Atlas, v.9, 287 p, 2005.

VINODH, S.; CHINTHA, S. Application of fuzzy QFD for enabling leanness in a manufacturing organisation. **International Journal of Production Research**, v. 49, n. 6, p.1627–1644, 2011.

WANG, H.; XIE, M.; GOH, T.N. A comparative study of the prioritization matrix method and the analytic hierarchy process technique in quality function deployment. **Total Quality Management**, v. 9, n.6, p. 421-430, 1998.

WENG, M.C.; HSIAO, J.M.; TSAI, C.H. 2009. Fuzzy analytical approach to prioritize design requirements in quality function deployment. *J. Qual.*, 16: 61-71, 2009.

YUEN, K. K. F. A hybrid fuzzy quality function deployment framework using cognitive network process and aggregative grading clustering: An application to cloud software product development. **Neurocomputing**, v. 142, p.95-106, 2014.

YOUNESI, M.; ROGHANIAN, E. A framework for sustainable product design: a hybrid fuzzy approach based on Quality Function Deployment for Environment. **Journal of Cleaner Production**, v. 108, part A, p.385-394, 2015.

ZADEH, L. A. Fuzzy Sets, **Information and Control**, v.8, p. 177-200, 1965.

ZAIM, S.; SEVKLI, M.; CAMGÖZ-AKDAĞ. H.; DEMIREL, D. O.; YAYLA, A.Y.; DELEN, D. Use of ANP weighted crisp and fuzzy QFD for product development. **Expert Systems with Applications**, v. 41, p. 4464–4474, 2014.

ZHAI, L. Y.; KHOO, L. P.; ZHONG, Z. W.; Towards a QFD-based expert system: A novel extension to fuzzy QFD methodology using rough set theory. **Expert Systems with Applications**, v.37, p.8888-8896, 2010.

ZHOU, M. Fuzzy logic and optimization models for implementing QFD. **Computers and Industrial Engineering**, v.35, n.1–2, p.237–240, 1998.

Apêndice 1 - Requisitos dos clientes do monóculo de visão térmica

Ref.	Requisito (RC)	Necessidades operacionais do combatente do futuro
RC1	Funcionalidades	<hr/> RC1.1 - Possuir funcionalidade de imageamento térmico <hr/> RC1.2 - Proporcionar amplo campo de visão <hr/> RC1.3 - Ter alta sensibilidade térmica <hr/> RC1.4- Possuir mecanismo de ajuste manual de foco <hr/> RC1.5 - Possuir ajuste de dioptria ocular <hr/> RC1.6 - Possuir retículo de pontaria <hr/>
RC2	Facilidade de uso	<hr/> RC2.1 - Permitir liberdade de movimento <hr/> RC2.2 - Atender os padrões de ergonomia <hr/> RC2.3 - Ter peso reduzido <hr/> RC2.4 - Ter dimensões reduzidas <hr/> RC2.5 - Possuir mostrador do nível de carga da bateria <hr/> RC2.6 - Ser de fácil manuseio <hr/>
RC3	Durabilidade	<hr/> RC3.1- Manter-se operacional em condições adversas <hr/> RC3.2 - Ter alta autonomia de bateria <hr/> RC3.3 - Ter resistência a interferências eletromagnética <hr/>
RC4	Possibilidade de acoplamentos	<hr/> RC4.1 - Permitir o uso acoplado a capacete <hr/> RC4.2 - Possuir fonte de alimentação externa <hr/> RC4.3 - Permitir o uso acoplado a armamento <hr/> RC4.4- Possuir saída de vídeo externa <hr/>

Apêndice 2 - Requisitos de projeto do monóculo de visão térmica

RPs	Descrição dos Requisitos de Projeto	Requisitos RTLI
RP1	Requisitos do corpo do monóculo	<p>Quando em sua utilização com o uso da mão, o MONÓCULO DEVE permitir ao combatente a execução de todos os movimentos listados no teste 5.8.4.1.8 da norma MIL-STD 1472G atendendo, no mínimo, os valores inferiores da tabela XXXVI.</p> <p>Quando em sua utilização com o capacete balístico, o MONÓCULO DEVE permitir ao combatente a execução dos movimentos A, B e H listados no teste 5.8.4.1.8 da norma MIL-STD 1472G atendendo, no mínimo, os valores inferiores da tabela XXXVI.</p> <p>O MONÓCULO DEVE possuir formato que atenda à norma MIL-STD 1472G, teste 5.8.6.2.5 item E.</p> <p>O MONÓCULO DEVE ser acoplável ou possuir acessório que o conecte aos capacetes balísticos de dotação do Exército Brasileiro.</p> <p>O MONÓCULO DEVE ser acoplável ou possuir acessório que siga o padrão MIL-STD 1913.</p> <p>O acessório do MONÓCULO que segue o padrão MIL-STD 1913 DEVE permitir o acoplamento de outros dispositivos ao mesmo armamento.</p> <p>O MONÓCULO DEVE possuir massa de, no máximo, 900g (novecentos gramas) no Modo Básico, incluindo todas as baterias e desconsiderando os acessórios de fixação do equipamento, com tolerância de 5%.</p> <p>O MONÓCULO DEVE possuir dimensões máximas de 250mm (duzentos e cinquenta milímetros) de comprimento x 100mm (cem milímetros) de altura x 100mm (cem milímetros) de largura no Modo Básico.</p> <p>O MONÓCULO DEVE manter-se operacional quando submetido ao ensaio ambiental de baixa pressão atmosférica de acordo com a norma MIL-STD 810G, método 500.5, procedimentos I (armazenamento) e II (operação).</p>

RPs	Descrição dos Requisitos de Projeto	Requisitos RTLI
		O MONÓCULO DEVE manter-se operacional quando submetido ao ensaio ambiental de baixa temperatura ambiente -20°C (menos vinte graus Celsius) de acordo com a norma MIL-STD 810G, método 502.5, procedimentos I (armazenamento) e II (operação).
		O MONÓCULO DEVE manter-se operacional quando submetido ao ensaio ambiental de alta temperatura ambiente +70°C (mais setenta graus Celsius) de acordo com a norma MIL-STD 810G, método 501.5, procedimentos I (armazenamento) e +50°C (mais cinquenta graus Celsius) procedimentos II (operação).
		O MONÓCULO DEVE manter-se operacional após ser submetido ao ensaio ambiental de umidade, de acordo com a norma MIL-STD 810G, método 507.5 procedimento I (ciclo natural e induzido B1 – 135 dias).
		O MONÓCULO DEVE manter-se operacional após ser submetido ao ensaio ambiental de névoa salina, de acordo com a norma MIL-STD 810G, método 509.5.
		O MONÓCULO DEVE manter-se operacional após ser submetido ao ensaio ambiental das condições mecânicas (areia), de acordo com a norma MIL-STD 810G, método 510.5, procedimento I.
		O MONÓCULO DEVE manter-se operacional após ser submetido ao ensaio ambiental das condições mecânicas (areia), de acordo com a norma MIL-STD 810G, método 510.5, procedimento II.
		O MONÓCULO DEVE manter-se operacional após imersão em água, de acordo com a norma MIL-STD 810G, método 512.5, procedimento I, devendo o mesmo resistir a 01 (um) metro de imersão por uma hora em água doce ou salgada.
		O MONÓCULO DEVE manter-se operacional após o teste de vibração, de acordo com a norma MIL-STD 810G, método 514.6 procedimento II, categoria 5.
		O MONÓCULO DEVE manter-se operacional após o teste de choque (queda livre), de acordo com a norma MIL STD 810G, método 516.6 procedimento IV (queda em trânsito), devendo resistir a quedas de um metro de altura, estando o equipamento dentro de seu estojo de combate.

RPs	Descrição dos Requisitos de Projeto	Requisitos RTLI
RP2	Requisitos da objetiva I (modo básico)	<p>O MONÓCULO DEVE permitir a visualização de imagens térmicas na faixa espectral correspondente a comprimentos de onda de 8µm (oito micrômetros) a 14µm (quatorze micrômetros).</p> <p>O MONÓCULO DEVE permitir a detecção, de acordo com a norma STANAG 4347, de um homem isolado a uma distância de, no mínimo, 100m (cem metros).</p> <p>O MONÓCULO DEVE permitir o reconhecimento, de acordo com a norma STANAG 4347, de um homem isolado a uma distância de, no mínimo, 40m (quarenta metros).</p> <p>O MONÓCULO DEVE permitir a identificação, de acordo com a norma STANAG 4347, de um homem isolado a uma distância de, no mínimo, 20m (vinte metros).</p> <p>Quando em sua utilização com o uso da mão, o MONÓCULO DEVE permitir ao combatente a execução de todos os movimentos listados no teste 5.8.4.1.8 da norma MIL-STD 1472G atendendo, no mínimo, os valores inferiores da tabela XXXVI.</p> <p>Quando em sua utilização com o capacete balístico, o MONÓCULO DEVE permitir ao combatente a execução dos movimentos A, B e H listados no teste 5.8.4.1.8 da norma MIL-STD 1472G atendendo, no mínimo, os valores inferiores da tabela XXXVI.</p> <p>O MONÓCULO DEVE possuir formato que atenda à norma MIL-STD 1472G, teste 5.8.6.2.5 item E.</p> <p>O MONÓCULO DEVE ser acoplável ou possuir acessório que siga o padrão MIL-STD 1913.</p> <p>O acessório do MONÓCULO que segue o padrão MIL-STD 1913 DEVE permitir o acoplamento de outros dispositivos ao mesmo armamento.</p> <p>O MONÓCULO DEVE possuir massa de, no máximo, 900g (novecentos gramas) no Modo Básico, incluindo todas as baterias e desconsiderando os acessórios de fixação do equipamento, com tolerância de 5%.</p> <p>O MONÓCULO DEVE possuir dimensões máximas de 250mm (duzentos e cinquenta milímetros) de comprimento x 100mm (cem milímetros) de altura x 100mm (cem milímetros) de largura no Modo Básico.</p> <p>O MONÓCULO DEVE manter-se operacional quando submetido ao ensaio ambiental de baixa pressão atmosférica de acordo com a norma MIL-STD 810G,</p>

RPs	Descrição dos Requisitos de Projeto	Requisitos RTLI
		método 500.5, procedimentos I (armazenamento) e II (operação).
		O MONÓCULO DEVE manter-se operacional quando submetido ao ensaio ambiental de baixa temperatura ambiente -20°C (menos vinte graus Celsius) de acordo com a norma MIL-STD 810G, método 502.5, procedimentos I (armazenamento) e II (operação).
		O MONÓCULO DEVE manter-se operacional quando submetido ao ensaio ambiental de alta temperatura ambiente +70°C (mais setenta graus Celsius) de acordo com a norma MIL-STD 810G, método 501.5, procedimentos I (armazenamento) e +50°C (mais cinquenta graus Celsius) procedimentos II (operação).
		O MONÓCULO DEVE manter-se operacional após ser submetido ao ensaio ambiental de umidade, de acordo com a norma MIL-STD 810G, método 507.5 procedimento I (ciclo natural e induzido B1 – 135 dias).
		O MONÓCULO DEVE manter-se operacional após ser submetido ao ensaio ambiental de névoa salina, de acordo com a norma MIL-STD 810G, método 509.5.
		O MONÓCULO DEVE manter-se operacional após ser submetido ao ensaio ambiental das condições mecânicas (areia), de acordo com a norma MIL-STD 810G, método 510.5, procedimento I.
		O MONÓCULO DEVE manter-se operacional após ser submetido ao ensaio ambiental das condições mecânicas (areia), de acordo com a norma MIL-STD 810G, método 510.5, procedimento II.
		O MONÓCULO DEVE manter-se operacional após imersão em água, de acordo com a norma MIL-STD 810G, método 512.5, procedimento I, devendo o mesmo resistir a 01 (um) metro de imersão por uma hora em água doce ou salgada.
		O MONÓCULO DEVE manter-se operacional após o teste de vibração, de acordo com a norma MIL-STD 810G, método 514.6 procedimento II, categoria 5.
		O MONÓCULO DEVE manter-se operacional após o teste de choque (queda livre), de acordo com a norma MIL STD 810G, método 516.6 procedimento IV (queda em trânsito), devendo resistir a quedas de um metro de altura, estando o equipamento dentro de seu estojo de combate.

RPs	Descrição dos Requisitos de Projeto	Requisitos RTLI
		O MONÓCULO DEVE proporcionar ao combatente um campo de visão horizontal de, no mínimo, 10º (dez graus) no Modo Básico, segundo o procedimento 4.6.4 dos procedimentos de teste TOP 6-3-040.
		O MONÓCULO DEVE possuir Diferença de Temperatura Equivalente ao Ruído (<i>Noise Equivalent Temperature Difference – NETD</i>) inferior a 0,1°C (zero vírgula um grau Celsius), conforme procedimento 4.4 dos procedimentos de teste TOP 6-3-040.
		O MONÓCULO DEVE possuir um mecanismo manual de ajuste de foco para alvos próximos e distantes, permitindo a focalização de um alvo a uma distância maior ou igual a 1m (um metro) do equipamento.
		O MONÓCULO DEVE ser acusticamente imperceptível a um homem situado a uma distância mínima de 10m (dez metros) do equipamento, de acordo com a norma MIL-STD 1474-D, requisito 2, considerando ambiente rural (Nível I).
		O MONÓCULO DEVE atender aos níveis de interferência eletromagnética dentro dos limites estabelecidos pela norma MIL-STD-461, testes CE102 e CS101.
		O MONÓCULO deve possuir saída de vídeo que permita a reprodução, por um monitor ou visor externo, da imagem observada pelo combatente.
		O MONÓCULO DEVE possuir a opção de exibir continuamente o nível de carga no mostrador da interface ocular com, no mínimo, 03 (três) níveis de indicação, quando ligado.
		A utilização dos acessórios, suporte de fixação ao armamento e suporte de fixação ao capacete do MONÓCULO DEVE poder ser realizada apenas com o auxílio das mãos do operador, não necessitando para tal, o uso de ferramentas.
		A troca de baterias do MONÓCULO DEVE poder ser realizada com as mãos, não necessitando de nenhum ferramental para esta finalidade.
		O MONÓCULO DEVE possuir chave LIGA/DESLIGA e demais funções claramente rotuladas no corpo do equipamento.

RPs	Descrição dos Requisitos de Projeto	Requisitos RTLI
RP3	Requisitos do Sistema de processamento e Controle	<p>O MONÓCULO DEVE permitir a visualização de imagens térmicas na faixa espectral correspondente a comprimentos de onda de 8µm (oito micrômetros) a 14µm (quatorze micrômetros).</p> <p>O MONÓCULO DEVE permitir a detecção, de acordo com a norma STANAG 4347, de um homem isolado a uma distância de, no mínimo, 100m (cem metros).</p> <p>O MONÓCULO DEVE permitir o reconhecimento, de acordo com a norma STANAG 4347, de um homem isolado a uma distância de, no mínimo, 40m (quarenta metros).</p> <p>O MONÓCULO DEVE permitir a identificação, de acordo com a norma STANAG 4347, de um homem isolado a uma distância de, no mínimo, 20m (vinte metros).</p> <p>O MONÓCULO DEVE possuir dimensões máximas de 250mm (duzentos e cinquenta milímetros) de comprimento x 100mm (cem milímetros) de altura x 100mm (cem milímetros) de largura no Modo Básico.</p> <p>O MONÓCULO DEVE manter-se operacional quando submetido ao ensaio ambiental de baixa pressão atmosférica de acordo com a norma MIL-STD 810G, método 500.5, procedimentos I (armazenamento) e II (operação).</p> <p>O MONÓCULO DEVE manter-se operacional quando submetido ao ensaio ambiental de baixa temperatura ambiente -20°C (menos vinte graus Celsius) de acordo com a norma MIL-STD 810G, método 502.5, procedimentos I (armazenamento) e II (operação).</p> <p>O MONÓCULO DEVE manter-se operacional quando submetido ao ensaio ambiental de alta temperatura ambiente +70°C (mais setenta graus Celsius) de acordo com a norma MIL-STD 810G, método 501.5, procedimentos I (armazenamento) e +50°C (mais cinquenta graus Celsius) procedimentos II (operação).</p> <p>O MONÓCULO DEVE manter-se operacional após ser submetido ao ensaio ambiental de umidade, de acordo com a norma MIL-STD 810G, método 507.5 procedimento I (ciclo natural e induzido B1 – 135 dias).</p> <p>O MONÓCULO DEVE manter-se operacional após ser submetido ao ensaio ambiental de névoa salina, de acordo com a norma MIL-STD 810G, método 509.5.</p> <p>O MONÓCULO DEVE manter-se operacional após ser submetido ao ensaio ambiental das condições mecânicas</p>

RPs	Descrição dos Requisitos de Projeto	Requisitos RTLI
		(areia), de acordo com a norma MIL-STD 810G, método 510.5, procedimento I.
		O MONÓCULO DEVE manter-se operacional após ser submetido ao ensaio ambiental das condições mecânicas (areia), de acordo com a norma MIL-STD 810G, método 510.5, procedimento II.
		O MONÓCULO DEVE manter-se operacional após imersão em água, de acordo com a norma MIL-STD 810G, método 512.5, procedimento I, devendo o mesmo resistir a 01 (um) metro de imersão por uma hora em água doce ou salgada.
		O MONÓCULO DEVE manter-se operacional após o teste de vibração, de acordo com a norma MIL-STD 810G, método 514.6 procedimento II, categoria 5.
		O MONÓCULO DEVE manter-se operacional após o teste de choque (queda livre), de acordo com a norma MIL STD 810G, método 516.6 procedimento IV (queda em trânsito), devendo resistir a quedas de um metro de altura, estando o equipamento dentro de seu estojo de combate.
		O MONÓCULO DEVE possuir Diferença de Temperatura Equivalente ao Ruído (<i>Noise Equivalent Temperature Difference – NETD</i>) inferior a 0,1°C (zero vírgula um grau Celsius), conforme procedimento 4.4 dos procedimentos de teste TOP 6-3-040.
		O MONÓCULO DEVE utilizar baterias comerciais disponíveis no mercado nacional com autonomia de, no mínimo, 1 hora (uma hora) de uso contínuo, sem recarga externa.
		O MONÓCULO DEVE possuir a opção de utilização do equipamento mediante alimentação elétrica externa.
		O MONÓCULO DEVE ser acusticamente imperceptível a um homem situado a uma distância mínima de 10m (dez metros) do equipamento, de acordo com a norma MIL-STD 1474-D, requisito 2, considerando ambiente rural (Nível I).
		O MONÓCULO DEVE atender aos níveis de interferência eletromagnética dentro dos limites estabelecidos pela norma MIL-STD-461, testes CE102 e CS101.
		O MONÓCULO deve possuir saída de vídeo que permita a reprodução, por um monitor ou visor externo, da imagem observada pelo combatente.

RPs	Descrição dos Requisitos de Projeto	Requisitos RTLI
		<p>O MONÓCULO DEVE possuir a opção de exibir continuamente o nível de carga no mostrador da interface ocular com, no mínimo, 03 (três) níveis de indicação, quando ligado.</p> <p>O MONÓCULO DEVE possuir, por meio da ação do combatente na interface de controle, a opção de exibição de retículos de pontaria do tipo Mil Dot quando ligado.</p>
RP4	Requisitos da Ocular	<p>O MONÓCULO DEVE permitir a visualização de imagens térmicas na faixa espectral correspondente a comprimentos de onda de 8µm (oito micrômetros) a 14µm (quatorze micrômetros).</p> <p>O MONÓCULO DEVE permitir a detecção, de acordo com a norma STANAG 4347, de um homem isolado a uma distância de, no mínimo, 100m (cem metros).</p> <p>O MONÓCULO DEVE permitir o reconhecimento, de acordo com a norma STANAG 4347, de um homem isolado a uma distância de, no mínimo, 40m (quarenta metros).</p> <p>O MONÓCULO DEVE permitir a identificação, de acordo com a norma STANAG 4347, de um homem isolado a uma distância de, no mínimo, 20m (vinte metros).</p> <p>Quando em sua utilização com o uso da mão, o MONÓCULO DEVE permitir ao combatente a execução de todos os movimentos listados no teste 5.8.4.1.8 da norma MIL-STD 1472G atendendo, no mínimo, os valores inferiores da tabela XXXVI.</p> <p>Quando em sua utilização com o capacete balístico, o MONÓCULO DEVE permitir ao combatente a execução dos movimentos A, B e H listados no teste 5.8.4.1.8 da norma MIL-STD 1472G atendendo, no mínimo, os valores inferiores da tabela XXXVI.</p> <p>O MONÓCULO DEVE possuir formato que atenda à norma MIL-STD 1472G, teste 5.8.6.2.5 item E.</p> <p>O MONÓCULO DEVE ser acoplável ou possuir acessório que o conecte aos capacetes balísticos de dotação do Exército Brasileiro.</p> <p>O MONÓCULO DEVE ser acoplável ou possuir acessório que siga o padrão MIL-STD 1913.</p> <p>O acessório do MONÓCULO que segue o padrão MIL-STD 1913 DEVE permitir o acoplamento de outros dispositivos ao mesmo armamento.</p> <p>O MONÓCULO DEVE possuir massa de, no máximo, 900g (novecentos gramas) no Modo Básico, incluindo todas as</p>

RPs	Descrição dos Requisitos de Projeto	Requisitos RTLI
		baterias e desconsiderando os acessórios de fixação do equipamento, com tolerância de 5%.
		O MONÓCULO DEVE possuir dimensões máximas de 250mm (duzentos e cinquenta milímetros) de comprimento x 100mm (cem milímetros) de altura x 100mm (cem milímetros) de largura no Modo Básico.
		O MONÓCULO DEVE manter-se operacional quando submetido ao ensaio ambiental de baixa pressão atmosférica de acordo com a norma MIL-STD 810G, método 500.5, procedimentos I (armazenamento) e II (operação).
		O MONÓCULO DEVE manter-se operacional quando submetido ao ensaio ambiental de baixa temperatura ambiente -20°C (menos vinte graus Celsius) de acordo com a norma MIL-STD 810G, método 502.5, procedimentos I (armazenamento) e II (operação).
		O MONÓCULO DEVE manter-se operacional quando submetido ao ensaio ambiental de alta temperatura ambiente +70°C (mais setenta graus Celsius) de acordo com a norma MIL-STD 810G, método 501.5, procedimentos I (armazenamento) e +50°C (mais cinquenta graus Celsius) procedimentos II (operação).
		O MONÓCULO DEVE manter-se operacional após ser submetido ao ensaio ambiental de umidade, de acordo com a norma MIL-STD 810G, método 507.5 procedimento I (ciclo natural e induzido B1 – 135 dias).
		O MONÓCULO DEVE manter-se operacional após ser submetido ao ensaio ambiental de névoa salina, de acordo com a norma MIL-STD 810G, método 509.5.
		O MONÓCULO DEVE manter-se operacional após ser submetido ao ensaio ambiental das condições mecânicas (areia), de acordo com a norma MIL-STD 810G, método 510.5, procedimento I.
		O MONÓCULO DEVE manter-se operacional após ser submetido ao ensaio ambiental das condições mecânicas (areia), de acordo com a norma MIL-STD 810G, método 510.5, procedimento II.
		O MONÓCULO DEVE manter-se operacional após imersão em água, de acordo com a norma MIL-STD 810G, método 512.5, procedimento I, devendo o mesmo resistir a 01 (um) metro de imersão por uma hora em água doce ou salgada.

RPs	Descrição dos Requisitos de Projeto	Requisitos RTLI
		<p>O MONÓCULO DEVE manter-se operacional após o teste de vibração, de acordo com a norma MIL-STD 810G, método 514.6 procedimento II, categoria 5.</p> <p>O MONÓCULO DEVE manter-se operacional após o teste de choque (queda livre), de acordo com a norma MIL STD 810G, método 516.6 procedimento IV (queda em trânsito), devendo resistir a quedas de um metro de altura, estando o equipamento dentro de seu estojo de combate.</p> <p>O MONÓCULO DEVE proporcionar ao combatente um campo de visão horizontal de, no mínimo, 10º (dez graus) no Modo Básico, segundo o procedimento 4.6.4 dos procedimentos de teste TOP 6-3-040.</p> <p>A utilização dos acessórios, suporte de fixação ao armamento e suporte de fixação ao capacete do MONÓCULO DEVE poder ser realizada apenas com o auxílio das mãos do operador, não necessitando para tal, o uso de ferramentas.</p> <p>A troca de baterias do MONÓCULO DEVE poder ser realizada com as mãos, não necessitando de nenhum ferramental para esta finalidade.</p> <p>O MONÓCULO DEVE possuir chave LIGA/DESLIGA e demais funções claramente rotuladas no corpo do equipamento.</p> <p>O MONÓCULO deve possuir ajuste de dioptria da ocular variando, no mínimo, de -5di (menos cinco dioptrias) a +1di (mais uma dioptria).</p> <p>O MONÓCULO DEVE possuir, por meio da ação do combatente na interface de controle, a opção de exibição de retículos de pontaria do tipo Mil Dot quando ligado.</p>
RP5	Requisitos do Sistema LCD	<p>O MONÓCULO DEVE permitir a visualização de imagens térmicas na faixa espectral correspondente a comprimentos de onda de 8µm (oito micrômetros) a 14µm (quatorze micrômetros).</p> <p>O MONÓCULO DEVE permitir a detecção, de acordo com a norma STANAG 4347, de um homem isolado a uma distância de, no mínimo, 100m (cem metros).</p> <p>O MONÓCULO DEVE permitir o reconhecimento, de acordo com a norma STANAG 4347, de um homem isolado a uma distância de, no mínimo, 40m (quarenta metros).</p>

RPs	Descrição dos Requisitos de Projeto	Requisitos RTLI
		O MONÓCULO DEVE permitir a identificação, de acordo com a norma STANAG 4347, de um homem isolado a uma distância de, no mínimo, 20m (vinte metros).
		O MONÓCULO DEVE possuir massa de, no máximo, 900g (novecentos gramas) no Modo Básico, incluindo todas as baterias e desconsiderando os acessórios de fixação do equipamento, com tolerância de 5%.
		O MONÓCULO DEVE possuir dimensões máximas de 250mm (duzentos e cinquenta milímetros) de comprimento x 100mm (cem milímetros) de altura x 100mm (cem milímetros) de largura no Modo Básico.
		O MONÓCULO DEVE manter-se operacional quando submetido ao ensaio ambiental de baixa pressão atmosférica de acordo com a norma MIL-STD 810G, método 500.5, procedimentos I (armazenamento) e II (operação).
		O MONÓCULO DEVE manter-se operacional quando submetido ao ensaio ambiental de baixa temperatura ambiente -20°C (menos vinte graus Celsius) de acordo com a norma MIL-STD 810G, método 502.5, procedimentos I (armazenamento) e II (operação).
		O MONÓCULO DEVE manter-se operacional quando submetido ao ensaio ambiental de alta temperatura ambiente +70°C (mais setenta graus Celsius) de acordo com a norma MIL-STD 810G, método 501.5, procedimentos I (armazenamento) e +50°C (mais cinquenta graus Celsius) procedimentos II (operação).
		O MONÓCULO DEVE manter-se operacional após ser submetido ao ensaio ambiental de umidade, de acordo com a norma MIL-STD 810G, método 507.5 procedimento I (ciclo natural e induzido B1 – 135 dias).
		O MONÓCULO DEVE manter-se operacional após ser submetido ao ensaio ambiental de névoa salina, de acordo com a norma MIL-STD 810G, método 509.5.
		O MONÓCULO DEVE manter-se operacional após ser submetido ao ensaio ambiental das condições mecânicas (areia), de acordo com a norma MIL-STD 810G, método 510.5, procedimento I.
		O MONÓCULO DEVE manter-se operacional após ser submetido ao ensaio ambiental das condições mecânicas (areia), de acordo com a norma MIL-STD 810G, método 510.5, procedimento II.

RPs	Descrição dos Requisitos de Projeto	Requisitos RTLI
		O MONÓCULO DEVE manter-se operacional após imersão em água, de acordo com a norma MIL-STD 810G, método 512.5, procedimento I, devendo o mesmo resistir a 01 (um) metro de imersão por uma hora em água doce ou salgada.
		O MONÓCULO DEVE manter-se operacional após o teste de vibração, de acordo com a norma MIL-STD 810G, método 514.6 procedimento II, categoria 5.
		O MONÓCULO DEVE manter-se operacional após o teste de choque (queda livre), de acordo com a norma MIL STD 810G, método 516.6 procedimento IV (queda em trânsito), devendo resistir a quedas de um metro de altura, estando o equipamento dentro de seu estojo de combate.
		O MONÓCULO DEVE proporcionar ao combatente um campo de visão horizontal de, no mínimo, 10º (dez graus) no Modo Básico, segundo o procedimento 4.6.4 dos procedimentos de teste TOP 6-3-040.
		O MONÓCULO DEVE utilizar baterias comerciais disponíveis no mercado nacional com autonomia de, no mínimo, 1 hora (uma hora) de uso contínuo, sem recarga externa.
		O MONÓCULO DEVE possuir a opção de utilização do equipamento mediante alimentação elétrica externa.
		O MONÓCULO DEVE ser acusticamente imperceptível a um homem situado a uma distância mínima de 10m (dez metros) do equipamento, de acordo com a norma MIL-STD 1474-D, requisito 2, considerando ambiente rural (Nível I).
		O MONÓCULO DEVE atender aos níveis de interferência eletromagnética dentro dos limites estabelecidos pela norma MIL-STD-461, testes CE102 e CS101.
		O MONÓCULO deve possuir saída de vídeo que permita a reprodução, por um monitor ou visor externo, da imagem observada pelo combatente.
		O MONÓCULO DEVE possuir a opção de exibir continuamente o nível de carga no mostrador da interface ocular com, no mínimo, 03 (três) níveis de indicação, quando ligado.
		O MONÓCULO deve possuir ajuste de dioptria da ocular variando, no mínimo, de -5di (menos cinco dioptrias) a +1di (mais uma dioptria).

RPs	Descrição dos Requisitos de Projeto	Requisitos RTLI
		O MONÓCULO DEVE possuir, por meio da ação do combatente na interface de controle, a opção de exibição de retículos de pontaria do tipo Mil Dot quando ligado.

Apêndice 3 – Questionário para avaliação do grau de importância atribuído a requisitos dos clientes: percepção dos futuros usuários militares

Instruções para o preenchimento do questionário de levantamento de grau de importância

Para o levantamento do grau de importância relativa entre requisitos dos clientes, propõe-se o uso do processo de julgamento utilizado por Saaty (1990). Este definiu uma escala específica para padronizar os julgamentos de valor, escala essa que capta a subjetividade natural existente em variáveis qualitativas.

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

Quadro 1 – Escala para padronizar os julgamentos de valor pelo método AHP

Intensidade de importância	Definição	Explicação
1	Mesma importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância moderada de uma sobre a outra	A experiência e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação à outra.
5	Importância grande ou essencial	A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação à outra.
7	Importância muito grande ou demonstrada	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação à outra; sua dominação de importância é demonstrada na prática.
9	Importância absoluta	A evidência favorece uma atividade em relação à outra com o mais alto grau de certeza.
2,4,6,8	Valores intermediários entre os valores adjacentes.	Quando se procura uma condição de compromisso entre as duas definições.

Fonte: Saaty, 1991.

O quadro 2 a seguir apresenta os critérios (requisitos dos clientes) e alternativas (requisitos de projeto), que integrarão a *House of Quality* e que foram definidos para o desenvolvimento de um monóculo de visão térmica.

Quadro 2 - Critérios (requisitos dos critérios) e alternativas (requisitos de projeto)

REQUISITOS DOS CLIENTES (RCs)		REQUISITOS DE PROJETO (RPs)	
RC1	Funcionalidades	RP1	Corpo do monóculo
RC2	Facilidade de uso	RP2	Objetiva I (modo básico)
RC3	Durabilidade	RP3	Sistema de processamento e controle
RC4	Possibilidade de acoplamento	RP4	Ocular
		RP5	Sistema LCD

Quadro 3 – Julgamento do grau de importância relativa entre os requisitos dos clientes

Qual o mais importante?		Assinalar o grau de importância relativa								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
FUNCIONALIDADES []	FACILIDADE DE USO []									
FUNCIONALIDADES []	DURABILIDADE []									
FUNCIONALIDADES []	ACOPLAMENTOS []									
FACILIDADE DE USO []	DURABILIDADE []									
FACILIDADE DE USO []	ACOPLAMENTOS []									
DURABILIDADE []	ACOPLAMENTOS []									

Nome: _____

Apêndice 4 – Questionário para avaliação do grau de importância atribuído a requisitos de projeto: percepção de PD&I (planejamento do projeto)

Instruções para o preenchimento do questionário de levantamento de grau de importância

Para o levantamento do grau de importância relativa entre requisitos, propõe-se o uso do processo de julgamento utilizado por Saaty (1990). Este autor definiu uma escala específica para padronizar os julgamentos de valor, escala essa que capta a subjetividade natural existente em variáveis qualitativas.

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

Quadro 1 – Escala para padronizar os julgamentos de valor pelo método AHP

Intensidade de importância	Definição	Explicação
1	Mesma importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância moderada de uma sobre a outra	A experiência e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação à outra.
5	Importância grande ou essencial	A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação à outra.
7	Importância muito grande ou demonstrada	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação à outra; sua dominação de importância é demonstrada na prática.
9	Importância absoluta	A evidência favorece uma atividade em relação à outra com o mais alto grau de certeza.
2,4,6,8	Valores intermediários entre os valores adjacentes.	Quando se procura uma condição de compromisso entre as duas definições.

Fonte: Saaty, 1991.

O quadro 2 a seguir apresenta os critérios (requisitos dos clientes) e alternativas (requisitos de projeto) da *House of Quality* que foram definidos para o desenvolvimento de um monóculo de visão térmica.

Quadro 2 – Critérios (requisitos dos clientes) e alternativas (requisitos de projeto)

REQUISITOS DOS CLIENTES (RCs)		REQUISITOS DE PROJETO (RPs)	
RC1	Funcionalidades	RP1	Corpo do monóculo
RC2	Facilidade de uso	RP2	Objetiva I (modo básico)
RC3	Durabilidade	RP3	Sistema de processamento e controle
RC4	Possibilidade de acoplamento	RP4	Ocular
		RP5	Sistema LCD

Quadro 3 – Julgamento do grau de importância relativa entre os requisitos de projeto

Qual o mais importante?		Assinalar o grau de importância relativa								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
CORPO MONÓCULO []	OBJETIVA []									
CORPO MONÓCULO []	SISTEMA P&C []									
CORPO MONÓCULO []	OCULAR []									
CORPO MONÓCULO []	SISTEMA LCD []									
OBJETIVA []	SISTEMA P&C []									
OBJETIVA []	OCULAR []									
OBJETIVA []	SISTEMA LCD []									
SISTEMA P&C []	OCULAR []									
SISTEMA P&C []	SISTEMA LCD []									
OCULAR []	SISTEMA LCD []									

Levantamento de interação entre RP x RC

Nessa fase, o intuito é fazer o levantamento de quais requisitos do projeto são afetados pelas demandas dos clientes.

Assinale com um X se houver influência e deixe em branco se não houver.

Quadro 4 – Influência direta dos requisitos de projeto pelos requisitos dos clientes

RP →	Corpo do monóculo	Objetiva I (modo básico)	Sistema de processamento e controle	Ocular	Sistema LCD
RC ↓					
Funcionalidades					
Facilidade de uso					
Durabilidade					
Possibilidade de acoplamento					

Dado que:

REQUISITOS DOS CLIENTES (RCs)		REQUISITOS DO PROJETO (RPs)	
RC1	Funcionalidades	RP1	Corpo do monóculo
RC2	Facilidade de uso	RP2	Objetiva I (modo básico)
RC3	Durabilidade	RP3	Sistema de processamento e controle
RC4	Possibilidade de acoplamento	RP4	Ocular
		RP5	Sistema LCD

Nome: _____

Apêndice 5 – Algoritmo desenvolvido no software MATLAB para o cálculo dos pesos relativos dos requisitos

```

clear all
clc
% inicio
% dsn é a variável que contém a matriz de comparação pareada,
basta inserir a matriz desejada para o cálculo dos pesos
relativos.
dsn=[1 1 1] [2/5 1/2 2/3] [1/2 1 3/2] [2 5/2 3]
[3/2 2 5/2] [1 1 1] [2 5/2 3] [2 5/2 3]
[2/3 1 2] [1/3 2/5 1/2] [1 1 1] [2 5/2 3]
[1/3 2/5 1/2] [1/3 2/5 1/2] [1/3 2/5 1/2] [1 1 1]];
[m n] = size(dsn);

fuzzyCompMatCell={};
% find sum of every l,m,u values for triangular fuzzy number
for i=1:m
    vec = [dsn{i,:}];
    mExtendAnalysis{1,i} = sum(reshape(vec,3,[])' );
end

vec = [mExtendAnalysis{1,:}];
mExtendAnalysisSum = sum(reshape(vec,3,[])' );

for i=1:m
    vec = [mExtendAnalysis{1,i}];
    for j=1:3
        val = mExtendAnalysisSum(1,4-j);
        %valSum(1,j) = val*vec(1,j);
        valSum(1,j) = (vec(1,j))*(1/val);
        % valSum(1,j) = vec(1,j);
    end
    mExtendAnalysis{1,i} = valSum;
end

%%
% degree of possibility calculation
%
%      /---
%      | 1      if m2>=m1
%      |
%      | 0      if l1>=l2
% V(M2>=M1) = <
%      |      l1-u2
%      | ----- otherwise
%      | (m1-u2)-(m1-l1)
%      \---
degreeOfPossibility = zeros(m*(m-1),3);
rowIndex = 1;
for i=1:m
    for j=1:m

```



```

        if i~=j
            degreeOfPossibility(rowIndex,[1 2]) = [i j];
            M1 = mExtendAnalysis{1,i};
            M2 = mExtendAnalysis{1,j};
            if M1(1,2) >= M2(1,2)
                degreeOfPossibility(rowIndex,3) = 1;
            elseif M2(1,1) >= M1(1,3)
                degreeOfPossibility(rowIndex,3) = 0;
            else
                degreeOfPossibility(rowIndex,3) = (M2(1,1) -
M1(1,3)) / ((M1(1,2) - M1(1,3)) - (M2(1,2) - M2(1,1)));
            end
            rowIndex = rowIndex + 1;
        end
    end
end
%%
% normalized weight calculation
weights = zeros(1,m);
for i=1:m
    weights(1,i) =
min(degreeOfPossibility([find(degreeOfPossibility(:,1) == i)],
[3]));
end
weights = weights/sum(weights);

```

Fonte: Adaptado de

<http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/33406-fuzzy-ahp?focused=6296687&tab=function>