



CENTRO UNIVERSITÁRIO SENAI CIMATEC
PROGRAMA DE POS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSO
GESTÃO E TECNOLOGIA INDUSTRIAL

LUCAS DE JESUS COSTA

PROPOSIÇÃO DE FERRAMENTA PARA O
GERENCIAMENTO DOS REQUISITOS DE PROJETO

Salvador

2019

LUCAS DE JESUS COSTA

PROPOSIÇÃO DE FERRAMENTA PARA O
GERENCIAMENTO DOS REQUISITOS DE PROJETO

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu do Centro Universitário SENAI CIMATEC como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Gestão e Tecnologia Industrial

Orientador: Prof. Dr. Valter Estevão Beal

Salvador

2019

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca do Centro Universitário SENAI CIMATEC

C837p Costa, Lucas de Jesus

Proposição de ferramenta para o gerenciamento dos requisitos de projeto /
Lucas de Jesus Costa. – Salvador, 2019.

122 f. : il. color.

Orientador: Prof. Dr. Valter Estevão Beal.

Dissertação (Mestrado em Gestão e Tecnologia Industrial) – Programa de
Pós-Graduação, Centro Universitário SENAI CIMATEC, Salvador, 2019.
Inclui referências.

1. Engenharia de requisitos. 2. Desenvolvimento de produtos. 3.
Gerenciamento de requisitos. 4. Gestão do conhecimento. I. Centro Universitário
SENAI CIMATEC. II. Beal, Valter Estevão. III. Título.

CDD: 658.404

CENTRO UNIVERSITÁRIO SENAI CIMATEC

Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia Industrial

A Banca Examinadora, constituída pelos professores abaixo listados, aprova a Defesa de Mestrado, intitulada "Proposição de ferramenta para o gerenciamento dos requisitos de projeto" apresentada no dia 12 de dezembro de 2019, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Título de Mestre em Gestão e Tecnologia Industrial.

Orientador:


Prof. Dr. Valter Estevão Beal
SENAI CIMATEC

Membro Interno:


Prof. Dr. Francisco Uchoa Passos
SENAI CIMATEC

Membro Externo:


Prof. Dr. Cristiano Vasconcellos Ferreira
UFSC

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus: sem ele, nada é possível!

Em sequência, agradeço aos meus pais pelas orientações, apoio, conselhos e pelo amor que sempre me deram.

Ao meu orientador, o Prof. Dr. Valter Estevão Beal, pela orientação fora de série.

Agradeço aos colegas de DPI: Alexandre Diogo, Carlos Eduardo, Daniel, Danilo Almeida, Francisco Chagas, Italo Martins, Gutemberg Torres, Tarcísio Faustino, Uilla Scarlet. Agradeço aos colegas de outros setores: Wellington Igino, Daniel Gonçalves, Ednaldo Cachoeira, Wallace Gonçalves, Ruan Brasil e Vitor Alberto.

Ao SENAI/CIMATEC, em nome dos professores Alex Allison Bandeira Santos e Guilherme Oliveira de Souza, que me deram a oportunidade de realizar o mestrado.

Por fim, agradeço às pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho

RESUMO

Uma eficiente gestão de requisitos é fator determinante para o sucesso de qualquer produto, visto que leva em conta os desejos e necessidades do cliente desde o princípio do desenvolvimento e garante seu atendimento durante o processo de desenvolvimento. Porém, há espaço para desenvolvimento de ferramentas que sirvam como apoio ao processo de criação e gestão dos requisitos durante todas as fases do desenvolvimento de produto. O objetivo deste trabalho é a proposição de uma ferramenta de apoio para a coleta, o gerenciamento e a representação das informações de forma que permita visualização facilitada da interdependência entre os requisitos e a sua associação com as funções a serem executadas pelo sistema/subsistema em desenvolvimento, bem como com os componentes do sistema/subsistema que serão escolhidos com base nas especificações. Deste modo, fez-se um estudo de caso onde a ferramenta e as recomendações foram aplicadas e seguidas e os resultados foram avaliados por meio da aplicação de um questionário. Os resultados indicam que a ferramenta contribuiu para um maior engajamento dos integrantes da equipe e maior disseminação de informações, o que provê uma visão mais ampla do projeto por parte dos integrantes da equipe.

Palavras-chave: Engenharia de requisitos, Desenvolvimento de produtos, Gerenciamento de requisitos; Gestão do conhecimento

TITLE

PROPOSAL OF A TOOL FOR MANAGING OF REQUIREMENTS OF MECHANICAL SYSTEMS

ABSTRACT

An efficient requirements management process is a determining factor for the success of any product, since it takes into account the desires and needs of the client from the beginning of the development and guarantees its attendance during the development process. However, there is scope for developing tools to support the process of creating and managing requirements during all phases of product development. The objective of this work is the proposition of a support tool for the collection, management and representation of information in a way that allows easy visualization of the interdependence between the requirements and their association with the functions to be performed by the system / subsystem systems / subsystem components to be chosen based on the specifications. In this way, a case study was carried out where the tool and the recommendations were applied and followed and the results were evaluated through the application of a questionnaire. The results indicate that the proposed tool have contributed to a greater engagement of team members and greater dissemination of information, which provides a broader view of the project by team members.

Keywords: Requirements engineering, Product development, Requirements management, Knowledge Management

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Datas importantes para as origens da Engenharia de sistemas, enquanto uma disciplina	32
Tabela 2: Quadro de vantagens e lacunas das ferramentas de gerenciamento de requisitos	47
Tabela 3: Quadro de vantagens e lacunas das ferramentas de gerenciamento de requisitos (continuação).....	48
Tabela 4: Listagem das necessidades dos clientes do projeto MCEC II.....	61
Tabela 5: Desdobramento de necessidades em requisitos técnicos.....	62
Tabela 6: Identificação dos requisitos.....	65
Tabela 7: Especificações-meta do projeto MCEC II	67
Tabela 8: Priorização dos requisitos da MCEC II (em ordem decrescente de importância)..	69
Tabela 9: Necessidades dos clientes relacionadas ao subsistema de refrigeração e aquecimento.....	77
Tabela 10: Identificação e classificação dos requisitos.....	79
Tabela 11: Restrições ao desenvolvimento do sistema de refrigeração	80
Tabela 12: Requisitos críticos relacionados ao requisito crítico "Taxa máxima de aquecimento/resfriamento do sangue"	81
Tabela 13: Necessidades dos clientes do projeto do robô de intervenção.....	87
Tabela 14: Requisitos do produto ordenados	88
Tabela 15: Respostas obtidas pelo questionário - questões 01 a 05	97
Tabela 16: Respostas obtidas pelo questionário - questões 01 a 05 (continuação)	98
Tabela 17: Respostas obtidas pelo questionário - questões 01 a 05 (continuação)	99
Tabela 18: Respostas obtidas pelo questionário - questões 01 a 05 (continuação)	100
Tabela 19: Respostas obtidas pelo questionário - questões 06 a 10	101
Tabela 20: Respostas obtidas pelo questionário - questões 11 a 15	102
Tabela 21: Respostas obtidas pelo questionário - questões 11 a 15 (continuação)	103

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Modelo de desenvolvimento de produtos proposto por Rozenfeld.....	19
Figura 2: Etapas de trabalho principais no planejamento e na concepção de um produto, proposto por Pahl e Beitz	23
Figura 3: Processo geral de decisão durante o PDP.....	24
Figura 4: Visão geral do ciclo de vida dos sistemas de acordo com a ISO/IEC 15288	36
Figura 5: O procedimento de engenharia de sistemas adotado pela NASA	38
Figura 6: Etapas para a elaboração de listas de requisitos, de acordo com Pahl e Beitz,.....	40
<i>Figura 7: Direções e dimensões dos links de rastreabilidade.....</i>	<i>43</i>
Figura 8: Metodologia a ser adotada no trabalho.....	49
Figura 9: Layout da ferramenta para gestão de requisitos - pág. 1	54
Figura 10: Layout da ferramenta para gestão de requisitos - pág. 2	55
Figura 11: Fluxograma de processo de escolha de parâmetros críticos.....	56
Figura 12: Momentos de uso da ferramenta de gerenciamento de requisitos	59
Figura 13: Teto da matriz QFD da máquina CEC, exibindo as inter-relações entre os requisitos.....	72
Figura 14: Identificação dos Sistemas, subsistemas e componentes da MCEC II.....	73
Figura 15: Representação da função total da MCEC II.....	74
Figura 16: Desdobramento inicial da função global da MCEC II.....	75
Figura 17: Função global do sistema de refrigeração	75
Figura 18: Síntese funcional do sistema de refrigeração.....	76
Figura 19: Layout do quadro de requisitos – 1º página.....	83
Figura 20: Layout do quadro de requisitos - 2º página.....	84
Figura 21: quadro de requisitos preenchido – 1º página	85
Figura 22: Quadro de requisitos preenchido – 2º página.....	86
Figura 23: Estrutura de sistemas, subsistemas e componentes do robô de intervenção.....	90
Figura 24: Identificação dos componentes do subsistema de tração	90
Figura 25: Função global do robô de intervenção.....	91
Figura 26: Síntese funcional do subsistema de tração.....	91
Figura 27: A ferramenta aplicado ao projeto de um robô de intervenção – 1º página	93
Figura 28: a ferramenta aplicada ao projeto de um robô de intervenção – 1º página	94
Figura 29: Experiência profissional dos respondentes.....	95
Figura 30: Formação dos respondentes.....	96
Figura 31: Percentual de respostas por alternativa da questão 5	105
Figura 32: Percentual de respostas por alternativa da questão 6	105
Figura 33: Percentual de respostas por alternativa da questão 7	106
Figura 34: Percentual de respostas por alternativa da questão 8	107
Figura 35: Percentual de respostas por alternativa da questão 9	107
Figura 36: Percentual de respostas por alternativa da questão 10.....	108
Figura 37: Percentual de respostas por alternativa da questão 11	109
Figura 38: Percentual de respostas por alternativa da questão 12.....	109
Figura 39: Percentual de respostas por alternativa da questão 14.....	110
Figura 40: Percentual de respostas por alternativa da questão 15.....	111

LISTA DE SIGLAS

CP: *Critical Parameters* (Requisitos Críticos)

ICT: Instituição de Ciência e Tecnologia

INCOSE: *International Council of Systems Engineering* (Conselho internacional da Engenharia de sistemas)

MCEC: Máquina de Circulação Extracorpórea

NASA: *North American Spatial Agency* (Agencia especial Norte-Americana)

NCOSE: *National Council of Systems Engineering* (Conselho nacional da Engenharia de sistemas)

PDP: Processo de Desenvolvimento de Produtos

P&D: Pesquisa e Desenvolvimento

QFD: *Quality Function Deployment* (Desdobramento da função qualidade)

VOC: *Voice of Customer* (Voz do cliente)

SUMÁRIO

TITLE	7
ABSTRACT	7
LISTA DE TABELAS.....	8
LISTA DE FIGURAS	9
LISTA DE SIGLAS	10
1. INTRODUÇÃO	13
1.1. Objetivos	15
1.2. Organização da dissertação	16
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	17
2.1. O processo de desenvolvimento de produtos (PDP).....	17
2.2. O gerenciamento de requisitos de produto e a engenharia de sistemas	27
2.2.1. Definição e Introdução	27
2.2.2. Estado da arte da engenharia de sistemas e da engenharia de requisitos	28
2.2.3. Fundamentos da engenharia de sistemas e da Engenharia de requisitos	34
3. METODOLOGIA.....	49
3.1. Identificação de lacunas no processo de gerenciamento de requisitos e de	
requisitos críticos	52
4. A FERRAMENTA PROPOSTA	53
5. PREENCHIMENTO E APLICAÇÃO DA FERRAMENTA	60
5.1. Primeira aplicação da ferramenta.....	60
5.1.1. Levantamento das necessidades dos clientes.....	61
5.1.2. Requisitos iniciais do produto.....	62
5.1.3. Matriz QFD e correlação entre necessidades e requisitos	64
5.1.4. Especificações-meta	67
5.1.5. Priorização dos requisitos	69
5.1.6. Desdobramento do equipamento em sistemas, subsistemas e	
componentes	70
5.1.7. Modelagem funcional e função global	74
5.1.8. Aplicação da ferramenta	77
5.2. Segunda aplicação da ferramenta	87
5.2.1. Levantamento das necessidades dos clientes.....	87
5.2.2. Requisitos iniciais priorizados e valores meta preliminares.....	88
5.2.3. Desdobramento do equipamento em sistemas, subsistemas e	
componentes	89
5.2.4. Modelagem funcional e função global	91

5.2.5. Aplicação da ferramenta	92
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	95
7. CONCLUSÕES	112
7.1. Sugestões de trabalhos futuros	114
REFERÊNCIAS	115
APÊNDICE	120

1. INTRODUÇÃO

Inconsistências em informações podem ocasionar atrasos nos projetos bem como aumento nos custos, devido a retrabalhos. Dessa forma, garantir que os desejos dos clientes sejam adequadamente capturados e transformados em requisitos, bem como respeitados e mantidos do modo mais fiel possível ao longo de todo o processo de desenvolvimento de produtos, é crucial para o sucesso do projeto (COOPER, 1988). Porém, a depender da natureza do projeto, do nível de complexidade e do seu grau de interdisciplinaridade, capturar e acompanhar a evolução dos requisitos, durante todo o processo de desenvolvimento de produtos, bem como a manutenção deles dentro dos limites estabelecidos pode ser uma tarefa complexa.

O gerenciamento de requisitos é um campo que é pouco explorado pelas empresas (Neves et.al, 2014), e metodologias que tenham o objetivo último de garantir um desenvolvimento eficaz encontram amplo escopo de aplicação (DA SILVA, 2001).

Na engenharia de requisitos, há três grandes questões chave: a dedução dos requisitos expressos pelos clientes, a tradução desses requisitos em formatos que possam ser processados e a sua análise (MCLELLAN; MOCKO, 2010). Deste modo, para que os projetos possam ser bem recebidos pelos clientes, segundo Yang e El-Haik, (2009), é necessário que desde as fases iniciais haja tradução e gerenciamento adequados dessas informações; isso perpassa por uma boa gestão dos requisitos dos clientes envolvidos em todas etapas de seu ciclo de vida. Daí, pode-se perceber a importância de um adequado gerenciamento de requisitos ao longo de todo o processo de desenvolvimento de produtos.

Expressa-se, portanto, a necessidade da captura das necessidades por meio do termo “*Voice of Customer*” – “VOC” (ou “voz do cliente”, na tradução para o português). Pode-se definir o método como:

“A voz do cliente é uma técnica de desenvolvimento de produto que produz um conjunto detalhado de necessidades e desejos do cliente, que são organizados em uma estrutura hierárquica e, então, priorizados em termos de importância relativa e satisfação com as alternativas atuais” (GRIFFIN; HAUSER, 1991, p.1, tradução nossa).

Ainda segundo o escrito por Griffin e Hauser (1991), o processo de obtenção da voz do cliente provê os seguintes resultados:

- Um entendimento detalhado das necessidades dos clientes;
- Uma linguagem comum para o direcionamento da equipe;
- Informações chave para o estabelecimento de apropriadas especificações de projeto para o novo produto ou o novo serviço;
- Um “trampolim” útil para a inovação de produtos.

Dentre o universo de requisitos gerados com base na voz do cliente (“VOC – *Voice of Customer*”), há os que são cruciais para o atendimento à função principal do produto a ser desenvolvido; esses são conhecidos como requisitos críticos (“CP – *Critical Parameters*”). O seu controle permite que o desenvolvimento dos produtos seja mais assertivo, visto que os projetistas e engenheiros podem direcionar os esforços de desenvolvimento ao atendimento desses requisitos.

Portanto além de gerenciar os requisitos, é importante que haja a determinação dos que são mais importantes para o atendimento da função final do produto a ser desenvolvido.

Ainda referente às necessidades dos clientes, elas podem ser categorizadas, de acordo com Kano et.al (1984 apud Shen, Tan e Xie, 2000) de três formas diferentes:

- Atributos necessários: aqueles que os clientes esperam que o produto possua e, em caso da não presença, causarão uma enorme frustração a eles.
- Atributos desejáveis: são os responsáveis pelo o que é dito pelos clientes à outras pessoas que se interessam pelo produto em questão: em caso da existência de atributos desse tipo, a satisfação com o produto aumenta e, em caso da inexistência (ou da pouca presença) de fatores como esses, a satisfação do cliente se reduz.
- Atributos diferenciadores: são os responsáveis pela diferenciação dos produtos em relação a concorrentes e, em caso da sua existência nos produtos, são os que causam uma extrema satisfação nos clientes.

Deste modo, pode se inferir que a satisfação de um cliente abrange o atendimento de necessidades que podem estar classificadas em quaisquer categorias ditas anteriormente. E, pode não ser suficiente apenas o atendimento das duas primeiras citadas (Shen, Tan e Xie, 2000).

Deve-se ressaltar, porém, que a gestão de requisitos de projetos de inovação de natureza multidisciplinar é ainda mais crucial. Então:

“Argumenta-se que o sucesso na inovação requer capacidade de informação adequada no sistema e que essa capacidade é uma função da intensidade do padrão de comunicação, ou seja, a frequência, a densidade, a informalidade e a abertura da comunicação”(SHEN; TAN; XIE, 2000, p. 97).

Logo, as seguintes questões são feitas:

1. Como gerenciar os requisitos de um projeto de elevada complexidade?
2. Quais os métodos mais adequados para traduzir a voz dos clientes em requisitos técnicos?
3. Quais as melhores maneiras de escrever esses requisitos, de modo que eles não sejam ambíguos?

Deste modo, busca-se com esse trabalho a criação e implantação de um método de coleta, transformação e controle de requisitos de projeto que possa ser eficazmente aplicado numa Instituição de Ciência e Tecnologia (ICT) voltada à inovação industrial.

1.1. Objetivos

O objetivo do trabalho é a proposição de uma ferramenta para a gerenciamento dos requisitos, para ser aplicada a projetos multidisciplinares e times distribuídos. Como forma de atingir o objetivo proposto, ficam abaixo listados os objetivos específicos:

- Apresentar o que existe na literatura acerca do tema gerenciamento de requisitos
- Propor uma ferramenta de gerenciamento de requisitos de projeto, com base nas lacunas identificadas na revisão bibliográfica realizada;
- Aplicar a ferramenta em projetos multidisciplinares desenvolvidos num centro tecnológico;
- Avaliar os resultados obtidos.

A importância deste trabalho reside na contribuição dada ao processo de desenvolvimento de produtos existente na ICT, o qual lida com desenvolvimento de produtos para diversos clientes, que atendem à diversas necessidades e que possuem dimensões diversas.

1.2. Organização da dissertação

Este trabalho está estruturado da seguinte forma:

- No capítulo 1, fazem-se os comentários iniciais a respeito do tema em estudo. Além disso, justifica-se a escolha do tema, mostram-se os objetivos gerais e específicos do trabalho e sua estruturação;
- No capítulo 2 realiza-se revisão bibliográfica acerca dos temas em estudo. Na primeira parte, mostra-se o estado da arte do estudo do processo de desenvolvimento de produtos e os seus marcos. Na segunda parte, analisam-se o processo de gerenciamento de requisitos de produto e a engenharia de sistemas.
- No capítulo 3, a metodologia deste trabalho é apresentada. Este capítulo apresenta os seguintes subtópicos:
 - Identificação de lacunas no processo de gerenciamento de requisitos aplicado ao desenvolvimento de produtos;
 - Apresentação da ferramenta, com detalhamento das etapas para sua construção;
 - Levantamento das informações necessárias ao preenchimento da ferramenta;
 - Construção da ferramenta gráfica de gerenciamento de requisitos;
 - Aplicação do questionário de avaliação da ferramenta.
- No capítulo 4 é feita a análise dos resultados obtidos;
- E, por fim, no capítulo 5, apresentam-se as conclusões obtidas a partir da análise dos resultados obtidos na etapa anterior.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. O processo de desenvolvimento de produtos (PDP)

O processo de desenvolvimento de produtos (PDP) é um método sistemático, de caráter interdisciplinar e planejado para a criação de novos produtos ou a atualização de produtos já existentes, de acordo com as necessidades do mercado. Segundo Pahl e Beitz (2005), o processo compreende duas etapas principais, que são a análise e a síntese e que, entre estas, existem as etapas de trabalho e de decisão.

Para Juran e Gryna (1992, p.4 apud Da Silva, 2001, pág. 18) o processo de desenvolvimento de produtos é dito como “uma etapa da espiral de qualidade que traduz as necessidades do usuário, descobertas por intermédio de informações de campo, num conjunto de requisitos do projeto do produto para a fabricação”; para Deschamps e Nayak (1997, p. 18-19 apud Da Silva, 2001, pág. 18) o processo consiste em “um caos bem organizado que, a partir de interações múltiplas, resulta na criação de um produto cujo princípio é atender às necessidades dos clientes e garantir a sobrevivência e o crescimento da empresa”.

As metodologias de desenvolvimento de produtos foram criadas não somente com o objetivo de organizar o PDP, mas de permitir que o processo como um todo fosse mais eficiente, permitindo que por meio de procedimentos, o talento dos projetistas pudesse ser melhor aproveitado (Pahl e Beitz, 2005). Logo, o somatório do conhecimento tácito de um projetista experiente aos procedimentos sistemáticos, eleva o nível do departamento de projetos bem como facilita a formação de novos projetistas, já que os métodos contribuem sobremaneira para a difusão do conhecimento no ambiente.

O desenvolvimento de produtos pode ser classificado por várias métricas. No que se refere ao grau de inovação envolvido temos, segundo Wheelwright e Clark (1992):

1. Pesquisa e desenvolvimento avançados: processos que aplicam os conhecimentos básicos da ciência com o objetivo de desenvolver novas tecnologias que podem ser aplicadas a futuros projetos de uma empresa;

2. Radical: quando mudanças de grande impacto são realizadas em produtos que já fazem parte do portfólio da empresa;
3. Novas gerações: quando novas características de peso significativo são adicionadas em produtos e em processos já existentes, culminando na criação de uma nova família de produtos, que tanto visam garantir a fidelização dos clientes como conquistar novos;
4. Derivados: quando novos produtos são incorporados a uma família já existente, aproveitando as características base desses produtos.

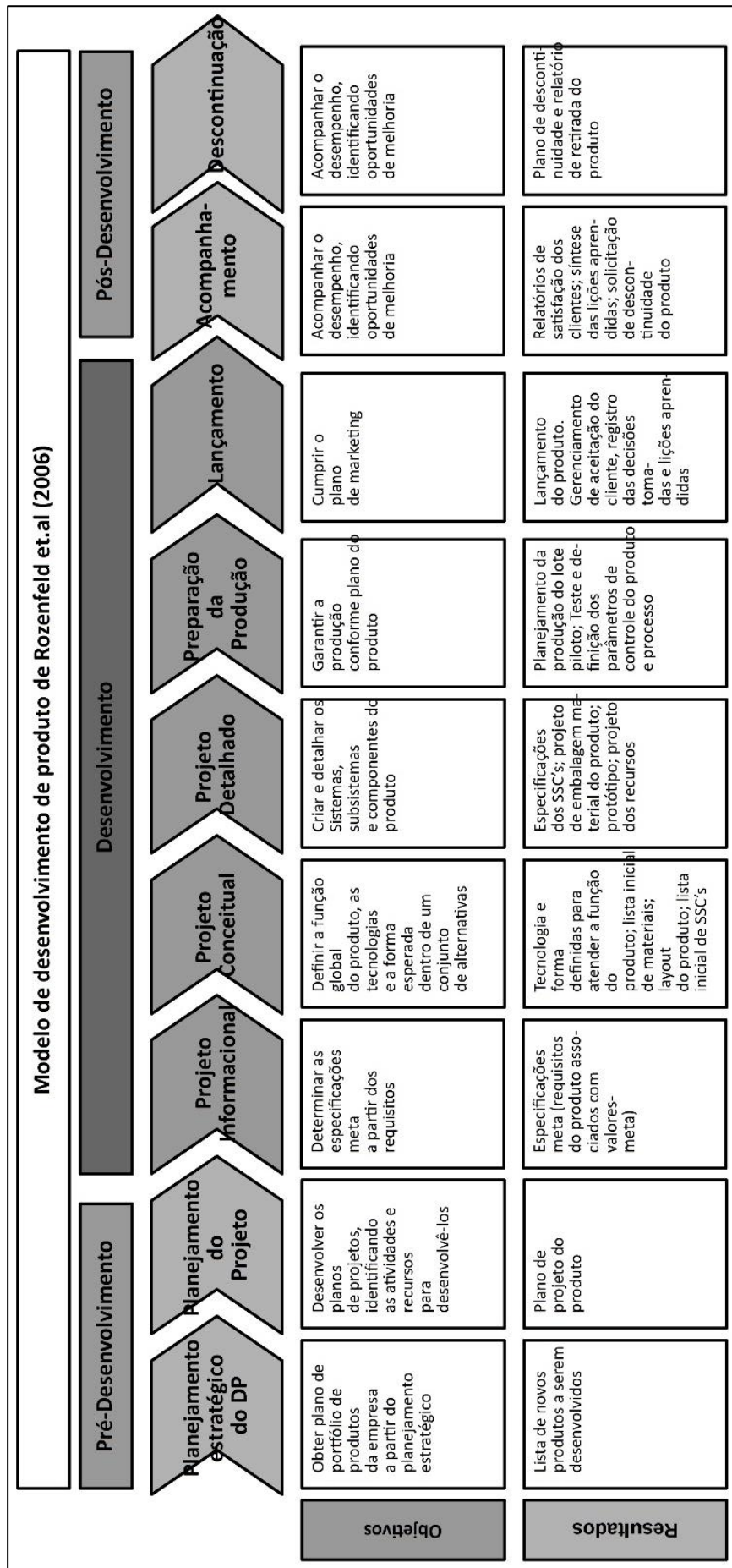
Modificações realizadas em produtos tem como objetivo principal aumentar a competitividade e permitir a sobrevivência das empresas (Da Silva, 2001), num cenário onde há poucos fatores diferenciadores entre os produtos. Quanto aos motivos que levam a introdução de novos produtos, destaca-se:

1. Incorporação de novas tecnologias: adição de novas funcionalidades, o que normalmente incorre em aumento da complexidade e faz com que, em alguns casos, a metodologia usada para o desenvolvimento requeira maior estruturação e maior controle de informações, recursos e pessoal;
2. Personalização: atendimento de gostos individuais de determinados consumidores, o que permite maior variedade e que reduzem os ciclos de vida dos produtos.

Portanto, para acompanhar a tendência do aumento de complexidade dos produtos, a captação e a gestão de informações relacionadas aos anseios dos clientes bem como o acesso ao conhecimento devem ser mais eficientes, mais seguras e mais fáceis.

Existem alguns modelos referenciais para o PDP; um dos mais recentes e mais conhecidos é o modelo de Rozenfeld et al. (2006), que é constituído de três macro divisões e dois processos de apoio. A figura 1 detalha o modelo.

Figura 1: Modelo de desenvolvimento de produtos proposto por Rozenfeld



Fonte: adaptado de Faccio (2010)

Cada uma das fases tem seu final definido com a entrega de um conjunto de resultados, conhecidos como “entregáveis” (*deliverables*), onde a documentação gerada é analisada e aprovada ou rejeitada em reuniões de revisão de fase (*gates*). Essa subdivisão existe para que as entregas de cada fase sejam avaliadas quanto ao seu cumprimento bem como à sua qualidade, permitindo determinar se o projeto prossegue para a próxima fase ou se permanece na mesma (Rozenfeld et.al, 2006).

O modelo de Pahl e Beitz, (2005), representado na figura 2, por sua vez, é dividido em 4 macrofases, a saber:

1. Planejamento e esclarecimento da tarefa:

Nessa primeira macrofase ocorre a coleta e a filtragem das informações passadas pelos clientes e/ou departamento comercial da empresa. O mercado é analisado, oportunidades são identificadas, e uma proposta de um produto para cobrir uma lacuna de mercado é feita. Com isso, uma primeira lista de requisitos é criada e um princípio de solução é definido.

2. Concepção:

Após a geração e validação da lista de requisitos, a etapa seguinte consiste na concepção de alternativas de solução a caráter preliminar determinação de material e cálculos iniciais. Uma avaliação desse desenvolvimento é feita com base em critérios técnicos e econômicos.

3. Anteprojeto ou esboço:

É feita a definição da estrutura, erros são verificados e pontos fracos são eliminados. Já é gerada uma lista de componentes, e instruções de montagem. Com isso, confirmam-se o esboço definitivo e libera-se para o detalhamento.

4. Detalhamento

Nesta etapa, toda a solução técnica do projeto é especificada de forma definitiva, o que inclui:

- A seleção e a especificação de componentes a serem desenvolvidos ou comprados;

- Finalização da forma geométrica, com determinação de métodos de montagem e fixação, roteamento de dutos e tubulações, encaminhamento de cabos elétricos, layout geral do produto (“*package*”);
- Cálculos detalhados, análises e simulações computacionais (Elementos finitos, fluidodinâmica computacional, simulações de desempenho, simulações de funcionamento dos circuitos elétricos);
- Seleção dos materiais mais adequados ao projeto;
- Criação de documentação referente a recomendações de montagem, produção, transporte e manutenção.

As seguintes saídas são geradas nessa etapa:

- Listas de materiais;
- Desenhos técnicos de fabricação e montagem dos componentes desenvolvidos, com tolerâncias dimensionais e geométricas adequadas;
- Relatórios de simulação de desempenho;
- Memoriais de cálculo;
- Folhas de especificação;
- Documentos para solicitação de fornecimento de componentes e equipamentos;
- Planos de fabricação de componentes, com determinação dos métodos de fabricação e ferramental adequado para cada um dos componentes a serem fabricados;
- Documentação de planejamento de testes e inspeção;
- Relatórios gerais acerca do processo de desenvolvimento e outros documentos.

Nesta etapa, algumas questões são respondidas:

- Para quais componentes a fabricação deve ser própria
- Para quais deve-se fazer parcerias ou simplesmente a aquisição
- Quais os métodos de fabricação mais adequados sob o ponto de vista da relação custo/desempenho
- Quais são os fornecedores mais adequados para componentes e materiais

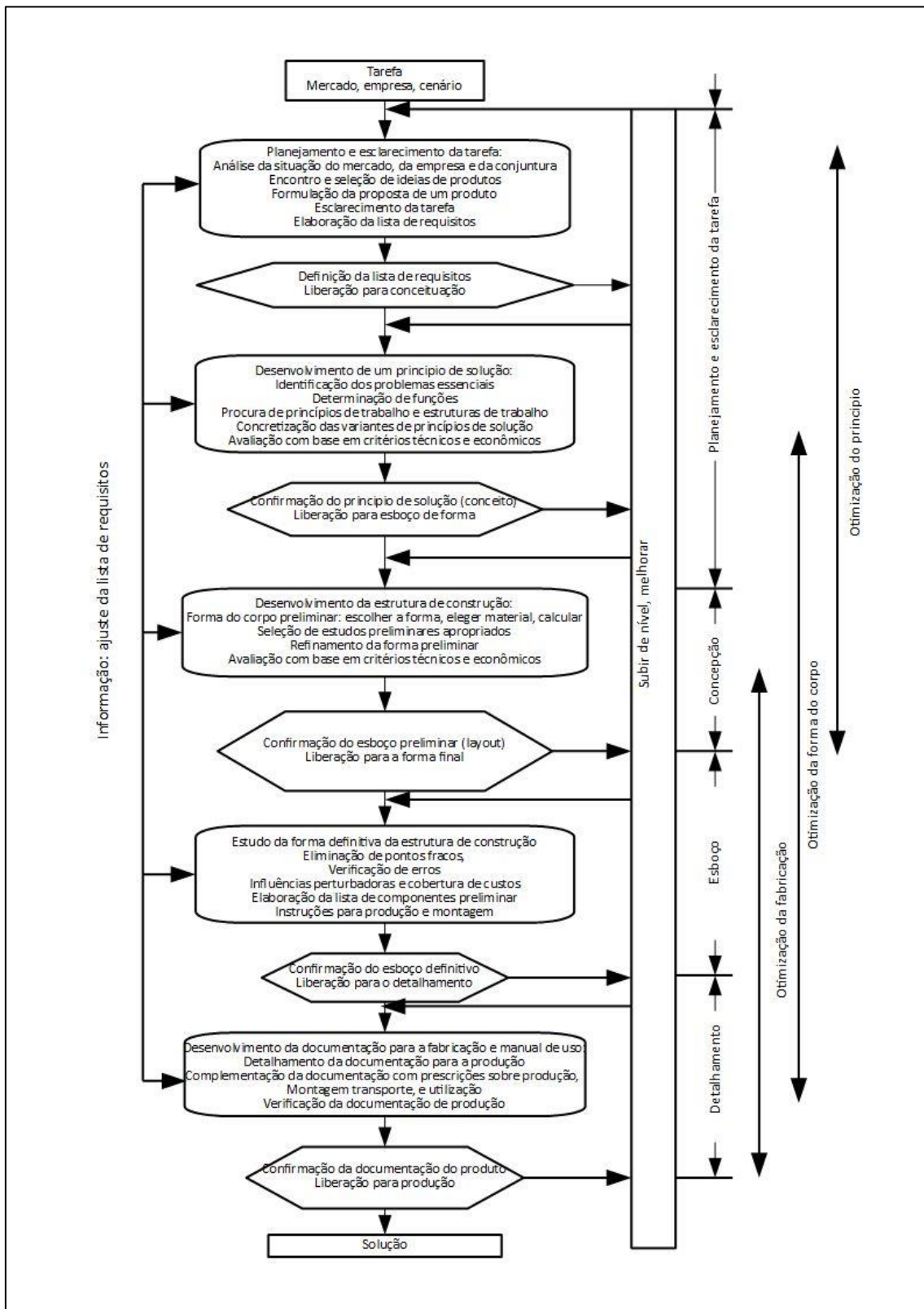
- Quais testes deverão ser feitos de modo a que seja possível representar de modo mais fidedigno as reais condições de operação do produto
- Há espaço para otimizações

Boa parte das dúvidas são sanadas pelo conhecimento e a experiência dos projetistas envolvidos; outras, por via dos vários resultados de cálculos e simulações. Em todas estas, o fator custo sempre deve ser considerado e normalmente tem o maior peso na escolha das alternativas. A Figura 2, ilustra o modelo de desenvolvimento explicitado anteriormente.

Ao final de cada uma das etapas de trabalho mostradas na Figura 2, passa-se às etapas de decisão, Figura 3, que têm como finalidade a verificação de todo e qualquer resultado gerado pela etapa de trabalho anterior. Portanto, a análise pode chegar às seguintes percepções, segundo Pahl e Beitz, (2005, p. 89):

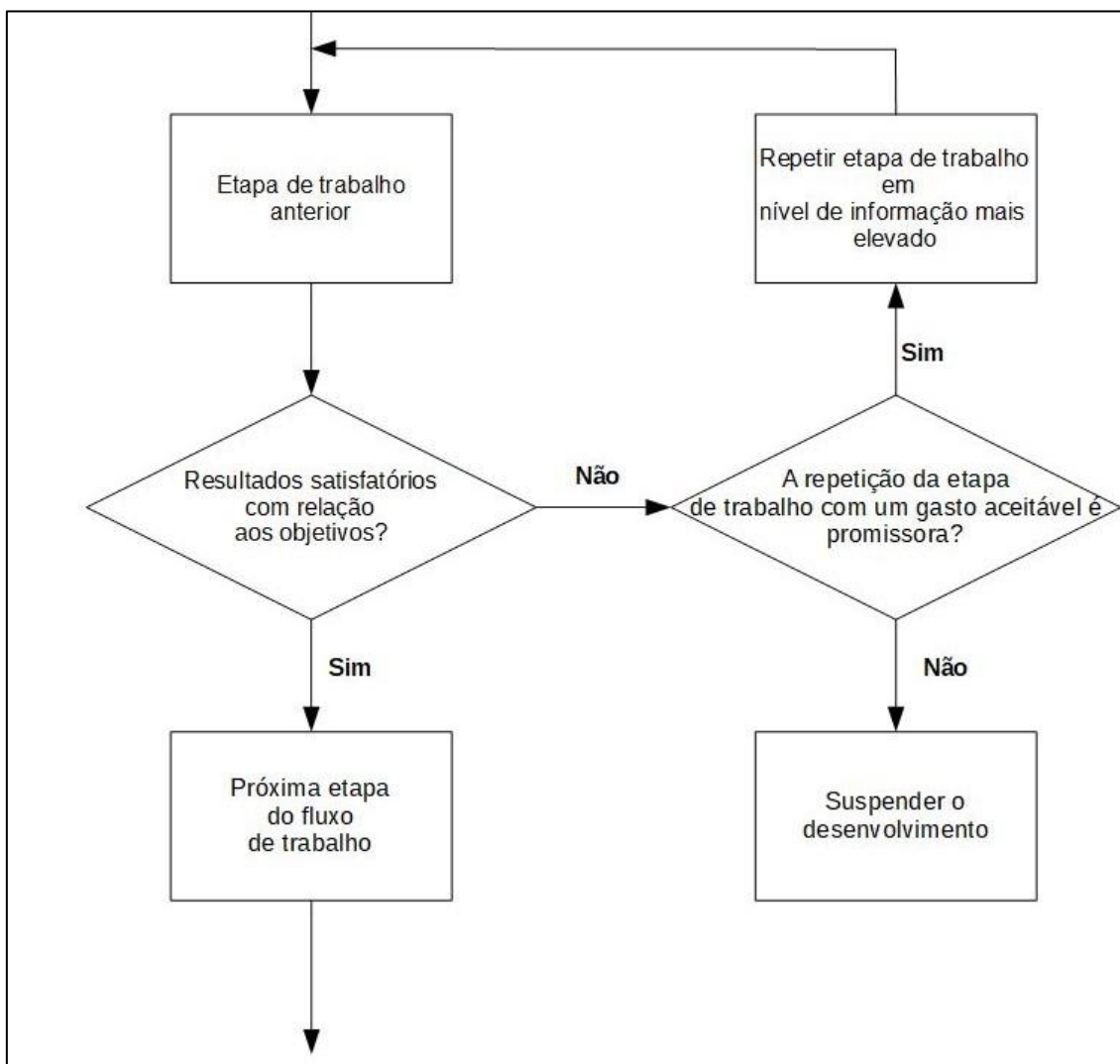
- Que a etapa de trabalho em questão obteve resultados satisfatórios, podendo-se assim começar a próxima etapa de desenvolvimento;
- Que, de acordo com os resultados atuais, o objetivo não conseguirá ser alcançado, levando aos responsáveis pelo desenvolvimento à não continuação do desenvolvimento com base no planejamento inicial;
- Que a etapa deverá ser repetida (com níveis de informação mais altos), em caso de o esforço necessário para tal tarefa seja aceitável e que traga um resultado satisfatório ou,
- Que o desenvolvimento deverá ser suspenso, em caso de o esforço requerido para a repetição da etapa se mostrar muito grande ou que não trará resultados satisfatórios.

Figura 2: Etapas de trabalho principais no planejamento e na concepção de um produto, proposto por Pahl e Beitz



Fonte: Adaptado de Pahl e Beitz, (2005)

Figura 3: Processo geral de decisão durante o PDP



Fonte: adaptado de Pahl e Beitz, (2005)

Pode-se inferir que as etapas de decisão do modelo de Pahl e Beitz, (2005, p. 89) correspondem aos “*gates*” do modelo de Rozenfeld et al. (2006) independente da nomenclatura adotada, visto que ambas as etapas têm a mesma função básica: a redução dos riscos associados ao desenvolvimento de um produto, através da verificação do cumprimento de cada etapa prevista bem como a verificação da qualidade do que foi entregue em cada etapa.

No que tange ao gerenciamento de requisitos, tanto o modelo de Rozenfeld et.al (2006) quanto o modelo de Pahl e Beitz (2005) concentra as tarefas de coleta e análise nas etapas iniciais de desenvolvimento. A verificação do atendimento dos requisitos, porém, é feito somente ao final das etapas de

desenvolvimento (Balaji e Murugaiyan, 2012; Fischer et al, 2016); etapas intermediárias de verificação e validação não são previstas nesses modelos.

Para apoio à coleta de necessidades e a transformação delas em requisitos, ambos os modelos citam o QFD como ferramenta principal. O modelo de Rozenfeld et.al (2006) sugere, adicionalmente, o uso de uma sistemática de aquisição de necessidades baseada na proposta de Pugh (1990).

Por fim, no que se refere à documentação e representação dos requisitos, os dois modelos de desenvolvimento de produtos possuem uma abordagem centrada em documentos e não em modelos (Brace e Cheutet, 2013).

Independentemente de como seja definido, o desenvolvimento de produtos tem como foco central o atendimento das necessidades dos clientes. Logo, a captação dos anseios dele e a tradução desses anseios em requisitos e especificações meta pode ser considerada como uma das etapas mais importantes do processo.

Deste modo, as etapas de projeto informacional e conceitual são as mais importantes, pois estas consolidam a base para o desenvolvimento dos produtos. A primeira é onde ocorre a determinação das especificações-meta a partir dos requisitos fundamentais; na segunda, a função global do produto é definida e diversos conceitos de solução são gerados e avaliados. A partir dessas etapas, parte-se para o projeto detalhado, onde há a criação dos sistemas, subsistemas e componentes. Um produto com requisitos que estejam alinhados com a voz do cliente (VOC – *Voice of Customer*) e com premissas e exclusões bem definidas traz importantes vantagens nos seguintes aspectos, segundo DA SILVA, (2001):

1. Custos;
2. Qualidade;
3. Tempo de desenvolvimento reduzido;
4. Flexibilidade;
5. Confiabilidade.

O escrito anteriormente apenas abordou uma das três condições que um projeto deve ter para ser bem-sucedido: o atendimento às demandas dos

usuários. Os outros dois fatores para o sucesso são o lançamento em momento correto e em intervalos cada vez menores e custo razoável e adequado ao mercado, em seu segmento.

No que se refere ao planejamento de prazos de lançamento, a tendência é a redução do ciclo de desenvolvimento. Segundo Lambert e Slater (1999), o lançamento em prazo correto está relacionado aos seguintes fatores:

- O nível de apoio prestado pela alta direção de uma empresa a um projeto;
- Uma eficiente gestão da cadeia de suprimentos;
- A estrutura organizacional de uma empresa;
- Ao quantitativo de tarefas executadas em paralelo durante o processo (quanto mais tarefas realizadas em paralelo, menor o tempo de lançamento do produto);

Para que o projeto possa estar em condições adequadas no momento do lançamento, um planejamento rigoroso de prazos e metas deve ser estabelecido. Para isso, segundo Pahl e Beitz, (2005, p. 93) duas condições devem ser estabelecidas: o projeto deve estar concluído em data estabelecida e antes da entrega final e as tarefas têm que ser delegadas de modo coerente, visto que nem todo colaborador é adequado para realizar todo e qualquer tipo de tarefa.

2.2. O gerenciamento de requisitos de produto e a engenharia de sistemas

2.2.1. Definição e Introdução

O processo de desenvolvimento de produtos começa pelo levantamento das necessidades dos clientes e a estruturação dessas informações. Esse processo, conhecido como *fuzzy front-end* (Reinertsen e Smith, 1991) apud Mendes e Toledo (2012, p. 1) está compreendido entre a geração de ideias para um novo produto e a decisão da empresa de investir no desenvolvimento desse produto (Mendes e Toledo, 2012).

A atenção às vontades e necessidades do cliente e a posterior transformação destas em requisitos, sendo parte da etapa de definição do projeto, é um dos fatores mais importantes para o sucesso de um projeto de engenharia. Estima-se que aproximadamente 80% dos custos de ciclo de vida do produto estão compreendidos até o fim das etapas de projeto detalhado e integração, segundo Haskins et.al (2006).

De modo a buscar a sistematização dos processos de coleta de informação bem como o tratamento desses dados e seu contínuo gerenciamento, surgiu a engenharia de requisitos.

Deste modo, cabem a citação das definições da engenharia de requisitos, da engenharia de sistema e a definição de sistema. Segundo Nuseibeh e Easterbrook (2000 apud Wiesner et al, 2017), define a engenharia de requisitos como o processo de descoberta de *stakeholders* e suas necessidades e a documentação destas, de modo que pudessem ser analisadas e comunicadas bem como a de identificação do propósito do sistema.

A engenharia de sistemas, por sua vez, pode ser definida como “ [...] um processo interdisciplinar de gerenciamento de engenharia que evolui e verifica um conjunto integrado e balanceado de soluções de sistema, que satisfazem as necessidades do cliente” (Lightsey, 2001, pág 1)

Aqui cabe, também, a definição de sistema. Um sistema é definido como “um conjunto integrado de pessoas, produtos e processos que fornecem a capacidade de satisfazer um determinado objetivo ou uma determinada necessidade” (Lightsey, 2001, pág.3).

2.2.2. Estado da arte da engenharia de sistemas e da engenharia de requisitos

A engenharia de requisitos, sendo parte da engenharia de sistemas, começou a ser vista como um campo de estudos, propriamente dito, por volta do início dos anos 1990, quando conferências internacionais e jornais foram criados especificamente para a divulgação e a discussão de estudos realizados nessa área (Nuseibeh e Easterbrook, 2000).

Nesse período, foram identificadas três ideias que modificaram o estudo da engenharia de requisitos (Nuseibeh e Easterbrook, 2000):

- A modelagem e a análise de requisitos são tarefas que não poderiam ser realizadas sem se levar em conta o contexto organizacional e o contexto social nos quais os novos sistemas irão operar. A importância dessa afirmação pode ser reconhecida quando há a necessidade de se aplicar questionários estruturados para facilitar a coleta e a classificação de requisitos;
- A noção de que a engenharia de requisitos não deveria focar em especificar a funcionalidade, mas sim em modelar propriedades optativas e indicativas do ambiente ou seja: ao descrever o ambiente no qual o novo sistema irá operar e como ele deve se comportar nesse ambiente, a captura do propósito do sistema e a percepção de que determinado design poderia atender ou não tornar-se-iam facilitadas;
- A ideia de que o gerenciamento e a solução de requisitos conflitantes devem ser mais importantes que a ideia de gerar requisitos completos e consistentes na primeira oportunidade.

Com o passar do tempo o foco das pesquisas na área mudou: de metodologias de coleta e classificação passou-se estudar a criação de ferramentas que permitissem um maior grau de automação ao processo de

gerenciamento dos requisitos. Várias ferramentas comerciais foram desenvolvidas com esse intuito, como o Doors e Teamcenter Systems Engineering, por exemplo (ALMEFELT et al., 2006). O foco dessas ferramentas está em gerenciar os requisitos a partir da perspectiva de modelos e operam normalmente, integrados a ferramentas de desenvolvimento de produtos (ALMEFELT et al., 2006). Porém, há problemas associados: são proprietárias (Torkar et.al, 2012), cada uma delas costuma ter suas linguagens de representação de requisitos e, para que possam se comunicar normalmente é necessário que haja uma ferramenta de tradução de linguagem. Outro problema identificado é a da existência de submódulos responsáveis pela gestão de cada aspecto do gerenciamento de requisitos. No Teamcenter Systems Engineering, por exemplo, existem quatro módulos responsáveis por: ligações entre os requisitos, ligações entre requisitos, peças e montagens, ligação entre requisitos e módulos e finalmente, ligações entre os requisitos e tarefas agendadas (Siemens PLM Software, 2016).

A ferramenta Acclaro DFSS Software, por sua vez, exhibe as relações entre os requisitos às funções de forma matricial (Functional Specs, 2017). O seu foco está, porém, está nos requisitos funcionais de um produto. Pouco ou nenhum enfoque é dado à requisitos não funcionais. No que se refere à representação de informações, os requisitos e componentes (ou parâmetros de design, conforme linguagem adotada pelo software) são representados por códigos alfanuméricos (Holzner et al, 2015; Suh e Doh, 2000). Além disso, o software mencionado não tem foco em controle de restrições (Guenov e Barker, 2005).

A ferramenta Qualica DFSS apresenta grande parte das funcionalidades presentes na ferramenta Acclaro, conforme descrito acima e novamente, não apresenta qualquer foco em restrições e também não destaca requisitos não funcionais (Arcidiacono et al, 2006; Qualica Software, 2019).

Na indústria, as ferramentas de gerenciamento de requisitos estão sendo cada vez mais empregadas. Estudo de caso feito por Deuter et.al (2018), em uma indústria de produtos mecatrônicos, mostrou que não há gerenciamento completo por parte da ferramenta usada (Teamcenter Systems Engineering), sendo necessária outra ferramenta para gerenciar os requisitos de software. O

estudo não fez modelagem de restrições (ou condições) de projeto, focando apenas no gerenciamento de requisitos

Outro estudo de caso feito por Ramesh et. al (1995) aplicou uma ferramenta de gerenciamento de requisitos no setor de desenvolvimento de armas do departamento de defesa americano. Os autores destacaram que os benefícios do uso da ferramenta em questão (CASE Spec) foram sentidos por todos os envolvidos no projeto. No que se refere ao uso, os custos relacionados ao tempo de treinamento da ferramenta foram altos porém reconhecidos como necessários e de única ocorrência.

Mclellan et al (2010) fizeram uma aplicação empírica usando duas ferramentas (IBM DOORS e NoMagic Magic Draw) no desenvolvimento de um veículo tático médio do exército americano. O objetivo dos autores era avaliar o atendimento, por parte dessas ferramentas, de critérios de aceitabilidade de uma ferramenta de gestão de requisitos (refinamento, histórico de requisitos, relação entre um requisito e um artefato criado para atendê-lo, verificação acoplamento entre requisitos, priorização dos requisitos, validação de entrada de informações e restrições de usuário). Para o IBM DOORS, verificou-se que ele atendia a todos os requisitos mencionados exceto um, a validação de entrada de informações. Outras limitações foram notadas como, por exemplo, a incapacidade de diferenciar relações entre requisitos e entre requisitos e componentes, entre requisitos e testes de verificação e relações entre componentes. Para o Magic Draw também não havia suporte para a validação de entrada de dados, porém as interligações entre requisitos, componentes e testes podiam ser categorizadas por representações específicas. Novamente, não houve qualquer menção, por parte dos autores da capacidade de modelar as restrições de projeto.

Hayes, Dekhtyar e Sundaram (2006) fizeram um estudo com a ferramenta RETRO, para fins de avaliação de usabilidade e atendimento aos requisitos de eficiência estabelecidos pelos autores do estudo (Credibilidade, precisão, escalabilidade, utilidade, discernibilidade e facilidade de recuperação das informações solicitadas). Os autores descreveram os algoritmos usados no software e o submeteram a um estudo de caso com dois conjuntos de dados de tamanhos diferentes, um referente a um espectrômetro de imagem (conjunto de

dados de requisitos menor, com 41 links reais entre informações) e um equipamento científico não divulgado (conjunto de dados de requisitos maior, com 235 requisitos de alto nível, 220 elementos de design e com uma matriz de rastreabilidade de requisitos com 361 links reais entre informações). Os resultados obtidos nas métricas definidas pelos autores foram satisfatórios, porém, novamente só foi abordada a modelagem de requisitos e não a modelagem das condições de projeto (restrições) e além disso, aspectos relacionados à credibilidade não foram avaliados.

Segundo Nuseibeh e Easterbrook (2000), as pesquisas na área da Engenharia de requisitos apontam para as seguintes tendências:

- A busca da redução do fosso existente entre a captura de requisitos feita por meio de técnicas como entrevistas e entre a que é feita por meio de técnicas mais formais;
- Enriquecimento dos modelos de representação, de modo que a captura e a análise de requisitos não funcionais sejam feitas de modo mais preciso;
- Reuso de modelos de requisitos, de modo que quaisquer diretrizes que já existam e que possuam eficiência comprovada possam ser usadas como ponto de partida para a especificação de novos requisitos para novos projetos;
- Capacitação dos profissionais dedicados à gestão dos requisitos dos produtos; o conhecimento necessário para uma captura eficiente e assertiva de um produto deve ser de natureza multidisciplinar, de modo que o profissional responsável possa ser capaz de interagir eficazmente com os profissionais das diversas áreas do conhecimento existentes no projeto.

A engenharia de sistemas, sendo precursora da engenharia de requisitos, surgiu por volta da década de 1930 (Lightsey, 2001). O termo “Engenharia de sistemas” foi cunhado, segundo Schlager (1956), no Bell Telephone Laboratories após a percepção que mesmo componentes de qualidade quando unidos em um sistema, não necessariamente são capazes de entregar resultados satisfatórios. A Tabela 1 mostra alguns marcos na história da Engenharia de sistemas.

Tabela 1: Datas importantes para as origens da Engenharia de sistemas, enquanto uma disciplina

1829	Rocket Locomotive, usada na estrada de ferro Liverpool-Manchester
1937	Análise de sistema aéreo de defesa britânico, por uma equipe multidisciplinar
1939-1945	Apoio da Bell Labs ao desenvolvimento da NIKE
1951-1980	Sistema aéreo de defesa SAGE definido e gerenciado pelo MIT
1956	Criação da análise de sistemas, pela corporação RAND
1962	Publicação de " <i>Uma metodologia para a engenharia de sistemas</i> "
1969	Jay Forrester (Modelagem de sistemas urbanos feita no MIT)
1994	Memorando Perry clama às prestadoras de serviço para o sistema militar para a adoção de práticas comerciais como a IEEE P1220
2002	Lançamento da ISO/IEC 15288

Fonte: adaptado de Haskins et al (2006)

A criação da NCOSE, em 1990, foi outro importante marco na história da engenharia de sistemas. Esta organização foi fundada por representantes de diversas organizações e corporações norte-americanas com o objetivo de estudar e propor melhorias à disciplina. Com o passar do tempo, a associação se tornou internacional (maior adesão de profissionais de fora dos Estados Unidos) e seu nome foi finalmente modificado para INCOSE.

Segundo Lightsey (2001), o padrão ISO/IEC 15288 lançado em 2002 consolidou a disciplina de engenharia de sistemas como método predileto para estabelecer acordos para a criação de produtos e serviços a serem negociados entre duas organizações empresariais: o comprador e o fornecedor.

Na Agencia espacial norte-americana (NASA), outra companhia adepta da Engenharia de sistemas, a disciplina foi consolidada pela diretiva interna NASA/SP-6105 de 1995 e teve sua primeira revisão interna realizada em 2007 (Hirshorn, Voss e Bromley, 2017). A primeira versão da diretiva introduziu os conceitos e técnicas fundamentais da disciplina enquanto a segunda trouxe atualizações à metodologia empregada pela empresa.

Um outro estudo realizado por Cheng e Atlee (2007) identificou que:

- Na elicitação dos requisitos, a maioria das pesquisas foca em melhorar as técnicas que melhoram a precisão e os detalhes dos requisitos;

- Na modelagem, identificou-se que a tendência aponta para a investigação de estratégias de modelagem que estabelecem critérios de correção, coleta de modelos que podem ser aplicados a diversos casos similares entre si e métodos de transformação de um modelo em outro;
- Na análise, na verificação e na validação, a maioria das pesquisas foca em métodos novos ou na melhoria de métodos já existentes de detecção de erros em modelos;
- No gerenciamento de requisitos, pesquisas focam em facilitar as tarefas de gerenciamento e em melhorar as técnicas de análise já existentes.

Revisão mais recente feita por Ambreen et.al (2018), indicou as mais recentes tendências em pesquisas empíricas no campo da engenharia de requisitos. Os seus resultados indicaram que os campos de elicitación de requisitos, análise de requisitos e estudos relacionados ao processo da engenharia de requisitos são os principais campos de estudo com 22%, 19% e 17% respectivamente.

Tratando especificamente da rastreabilidade de requisitos, Montelisciani et al (2014) propuseram um método para auxílio na decomposição de necessidades em requisitos e em “críticos para a qualidade” e a representação deles em matrizes de correlação. Em aplicação em estudo de caso, o método proposto pelos autores permitiu a identificação de 30 parâmetros de design principais nos quais a equipe de desenvolvimento deverá concentrar os esforços.

Ferrari e Souza (2016) fizeram um estudo onde propuseram um processo para a gestão de requisitos em sistemas complexos integradas a práticas de gerenciamento de projetos. O processo consistia em 5 etapas (gerenciamento de engenharia de requisitos, elicitación, análise, especificação, e verificação e validação) e a equipe envolvida era dividida em 5 subequipes (equipe de gerenciamento, equipe de usuários, equipe de engenharia de sistemas, equipe de análise de requisitos e equipe de *stakeholders* principais). Cada equipe era responsável por cada uma das 5 etapas. As tarefas principais de cada etapa eram: 1) a preparação do *brief* de engenharia de requisitos, 2) definição da

missão do sistema e do conceito operacional, 3) desenvolvimento do conceito de operação, 4) planejamento das tarefas da engenharia de requisitos, 5) desenvolvimento do conceito operacional do sistema, 6) definição dos requisitos operacionais do sistema, 6) análise de restrições e definição dos requisitos técnicos do sistema, 7) condução do processo de engenharia de requisitos, gestão do engajamento dos *stakeholders*, negociação de requisitos, gestão da documentação e do trabalho de engenharia de requisitos. Nestas etapas, identificam-se o escopo do trabalho, faz-se a organização da equipe de gerenciamento de requisitos, desenvolve-se o conceito e a estrutura do sistema, planeja-se o trabalho da engenharia de requisitos (como serão tratados aspectos como custos, qualidade, recursos e riscos); prossegue-se com a modelagem de funcionamento do sistema, o desenvolvimento do conceito operacional do sistema, a definição dos requisitos operacionais e requisitos técnicos do sistema, análise de restrições e questões relativas à gestão dos *stakeholders* e a gestão dos requisitos. Os principais benefícios identificados, segundo os autores, foram o engajamento dos *stakeholders*, o desenvolvimento de requisitos de alta qualidade nas fases iniciais do projeto, a criação de uma sistemática para a gestão de requisitos na etapa de concepção do sistema, e aumento das chances de sucesso do processo por prover uma maior integração. Porém, o trabalho não abordou formas de se representarem os requisitos, citando apenas a criação de documentação específica sem mencionar qualquer sistemática para essa criação ou sua forma de representação. Como ponto negativo, pode-se mencionar que o autor não

2.2.3. Fundamentos da engenharia de sistemas e da Engenharia de requisitos

O propósito da engenharia de sistemas e da engenharia de requisitos é o de reunir um conjunto de metodologias e ferramentas que possam permitir a tradução dos anseios dos clientes em especificações técnicas que guiarão os projetistas durante o desenvolvimento do produto. Busca, portanto, atingir soluções de projeto seguras e balanceadas; logo, ela foca não no comportamento da solução final, mas sim na interação da solução com o problema e na inter-relação entre os diversos subsistemas constituintes de um sistema maior.

Segundo Haskins et.al (2006), o processo da Engenharia de requisitos pode ser decomposto em:

- Processos técnicos: nessa categoria, estão inclusos o processo de definição dos requisitos dos *stakeholders*, análises de requisitos projeto arquitetural, implementação, integração, verificação, transição, validação, operação, manutenção e descarte;
- Processos de projeto: inclui-se o planejamento, avaliação, controle, tomadas de decisão gerenciamento de risco, gerenciamento de configuração, e o gerenciamento da informação;
- Processos empresariais: planejamento empresarial, gestão de investimentos, gerenciamento dos processos de ciclo de vida, gerenciamento de recursos e gestão da qualidade;
- Processos de aceitação/concordância: aquisições e fornecimento.

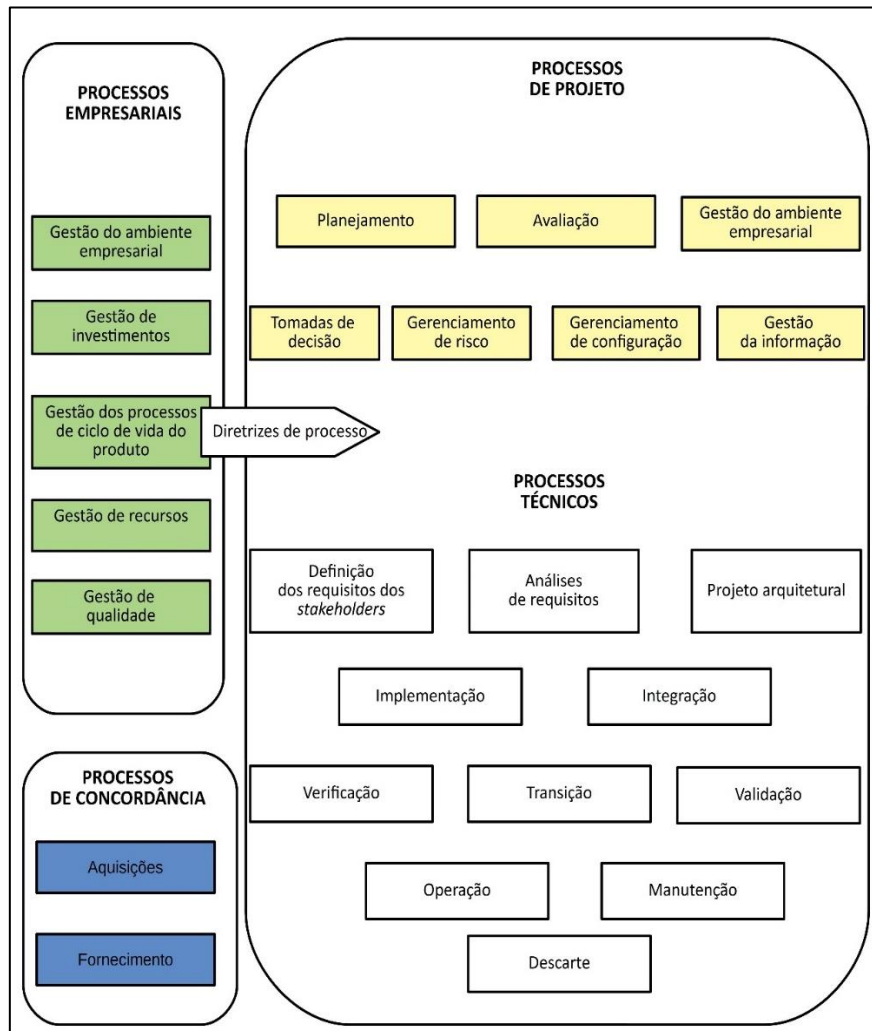
A Figura 4 apresenta a ligação entre esses processos e evidencia o fato de que os processos empresariais são o início do processo de engenharia de requisitos, enquanto os processos de projeto e técnicos estão interligados e são responsáveis por materializar o produto visto como uma oportunidade pela equipe dos processos empresariais e por gerenciar o processo de desenvolvimento. Já os processos de concordância atuam como apoio à todo o desenvolvimento, de modo geral.

Novamente segundo Haskins (2006), as atividades que suportam os quatro processos principais da engenharia de sistemas, descritos acima e na Figura 4, se enquadram em três categorias:

- Atividades viabilizadoras da engenharia de sistemas: gerenciamento de requisitos, gerenciamento de riscos e oportunidades, e tomadas de decisão;
- Atividades dos processos de ciclo de vida do sistema: abrange tópicos particulares relacionados à aquisições e fornecimento, projeto de arquitetura do sistema, gerenciamento de configuração, de informações, de investimentos, planejamento de projetos, gestão da qualidade, de recursos, validação e verificação;

- Atividades de engenharia especializada: informações de ordem prática sobre tópicos como logística de aquisições e fatores humanos de engenharia.

Figura 4: Visão geral do ciclo de vida dos sistemas de acordo com a ISO/IEC 15288



Fonte: traduzido de Haskins et.al, 2006

O processo de engenharia de sistemas adotado pela NASA descrito no procedimento NPR 7123.1 (Hirshorn, Voss e Bromley, 2017) difere levemente daquele que é descrito pela INCOSE. Então, “há três grupos comuns de processos técnicos no procedimento NPR 7123.1, [...]: projeto do sistema, realização do produto e gerenciamento técnico (NASA, 2016, p.5)”. A descrição de cada um dos três grupos de processos é:

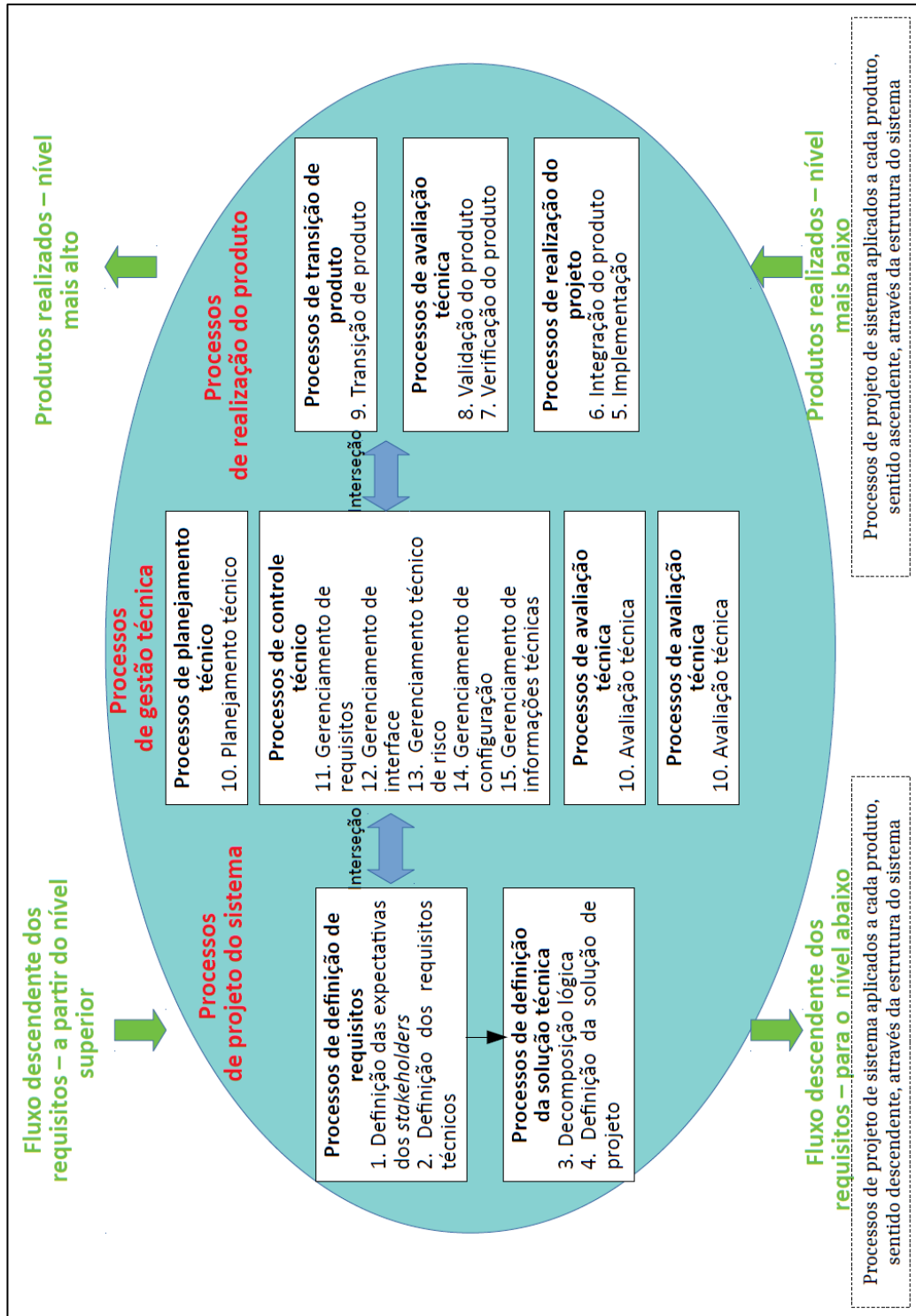
- Projeto do sistema: envolve a definição das expectativas dos *stakeholders*, geração da primeira versão dos requisitos técnicos, o uso

destes requisitos para a criação de modelos lógicos e comportamentais do sistema, e a conversão dos requisitos técnicos (ou especificações-meta) em uma definição de uma solução final de design que satisfará as expectativas iniciais (vontades) dos *stakeholders* do projeto;

- Realização ou materialização do produto: processos que são aplicados de modo a garantir uma correta integração entre todos eles e verificar o atendimento aos requisitos técnicos por parte de cada subsistema. Partem dos produtos de nível mais baixo (componentes individuais) e chegam até os sistemas integrados pertencentes a níveis mais altos (subsistemas e o sistema completo).
- Gerenciamento técnico: criam e controlam a evolução de planos técnicos do projeto, a sua condução até o final, gerenciam comunicação entre interfaces, comparam a evolução real do projeto com o planejamento inicial e o atendimento aos requisitos técnicos e auxiliam nos processos de tomada de decisão.

Comparando-se os dois padrões descritos, percebem-se inúmeras semelhanças entre os processos. Esta afirmação é comprovada por Estefan, (2008) que afirmou que a NASA reconheceu a importância dos diversos padrões industriais existentes e os incorporou em sua própria diretiva. A Figura 5 ilustra o processo adotado pela NASA. Aqui, mostra-se que os processos de 1 a 9 são tarefas executadas no desenvolvimento de um projeto. As tarefas 10 a 17, na mesma figura 5, são tarefas de apoio ao processo central de desenvolvimento. No lado esquerdo, mostra-se o fluxo de desdobramento de requisitos enquanto que no lado direito mostra-se o fluxo de desenvolvimento do produto, indo no sentido de componentes e subsistemas até a integração final e testes de validação e verificação.

Figura 5: O procedimento de engenharia de sistemas adotado pela NASA



Fonte: traduzido de Hirshorn, Voss e Bromley, 2017

A engenharia de sistemas é uma atividade intrinsecamente interdisciplinar. Logo, ela visa a criação de métodos para gerenciar a complexidade e as mudanças que ocorrem com bastante frequência nestes tipos de projeto e que são fontes de risco. Como 85% dos custos do ciclo de vida são comprometidos até a etapa de desenvolvimento, erros não detectados nas partes iniciais aumentam sobremaneira os custos de correção à medida em que o projeto segue (Haskins et al, 2006).

Por sua vez, as atividades da engenharia de requisitos podem ser categorizadas em:

1. Coleta de requisitos: nesta etapa são feitas as tarefas de elicitação, análise especificação e validação dos requisitos; é a mais importante para o sucesso do projeto visto que dúvidas, faltas de informações e conflitos de informações são sanados nesta primeira etapa;
2. Gerenciamento de requisitos: esta etapa compreende as tarefas de rastreamento, gerenciamento de mudanças e qualificação dos requisitos.

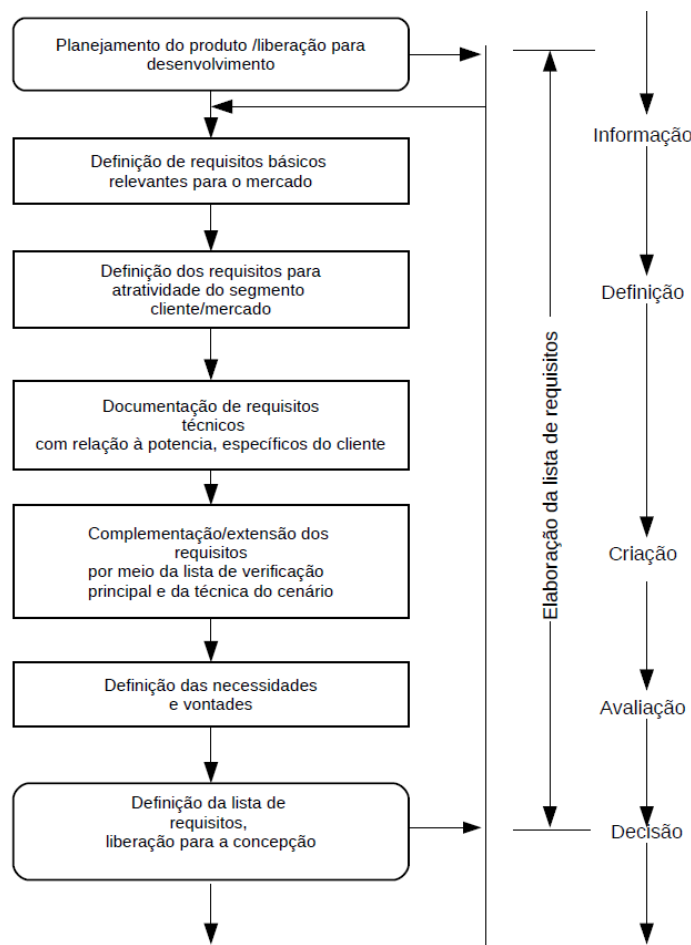
Ainda segundo Wiesner et.al (2017), no âmbito do desenvolvimento de produtos, é dada maior ênfase à primeira etapa descrita acima, com um bom nível de formalismo já existente no processo de coleta e elicitação. Muito pouco, porém, é feito no sentido de gerenciar os requisitos e mudanças que possam ocorrer nos mesmos ao longo do inteiro ciclo de desenvolvimento. Existem alguns aspectos de gerenciamento de requisitos que são adotados, mas há poucas ou quase nenhuma instrução para implementação.

A maioria das tarefas de gerenciamento de requisitos eram (e até hoje são, em algumas empresas) feitas com o uso de ferramentas simples e por simples verificação/consulta, tais como documentos eletrônicos de texto e/ou planilhas eletrônicas. O uso destas ferramentas pode fazer com que inconsistências nos requisitos de projeto tornem-se possíveis de acontecer, e possam sair de controle com o passar do tempo, principalmente se não houver um profissional exclusivamente dedicado ao controle de tal documentação.

Embora tal prática já seja recorrente, conforme já mencionado, não há garantia de que listas documentadas possuam proteções contra alterações indevidas ou exclusões; além disso na maioria dos casos, a linguagem utilizada nas listas escritas não é de fácil entendimento para todos os envolvidos no projeto. Deste modo, o

controle dos requisitos e o registro de suas evoluções no decorrer do processo de desenvolvimento de produtos tornam-se tarefas de difícil realização; visto que os requisitos podem sofrer modificações ou até mesmo serem eliminados ou terem sua importância relativa alterada, a necessidade de novos métodos e ferramentas dedicadas à essa tarefa tornou-se imperativa; deve-se levar em consideração também, a integração entre requisitos das diferentes disciplinas presentes em um projeto o que só aumenta o grau de complexidade da tarefa. As etapas da elaboração de listas de requisitos, segundo Pahl e Beitz, (2005) estão evidenciadas na Figura 6.

Figura 6: Etapas para a elaboração de listas de requisitos, de acordo com Pahl e Beitz,



Fonte: Pahl e Beitz, (2005, p. 102)

Ainda, há várias outras questões sobre a prática da engenharia de requisitos, seja a nível de Brasil ou a nível mundial que merecem atenção e solução (Martins e Gorschek, 2017):

- Pesquisas apontam que para a criação e a validação de métodos e ferramentas, há pouca integração entre o que é pesquisado na academia e o que é praticado na indústria. Isso se deve ao fato de que normalmente as pesquisas são feitas em ambientes que não são onde as metodologias e ferramentas serão aplicadas de fato;
- Ainda há entraves no que se refere à comunicação entre diferentes equipes que irão trabalhar em cima de uma mesma lista de requisitos. Uma grande preocupação existente é com relação às diferenças de entendimento dos requisitos pelos diferentes profissionais envolvidos em um projeto;
- Há uma falta de estruturação no que se refere à definição de um conjunto de ferramentas usadas na eliminação de conflitos nos requisitos e em seu refinamento.

No que se refere a métodos de coleta de informações, diversos tipos são usados e a escolha destas depende normalmente dos tipos de projetos e também da complexidade deles. Segundo Wagner et.al (2017) no contexto do desenvolvimento de software, as fontes de informação mais usadas na coleta e seleção de requisitos são, na seguinte ordem de frequência de uso:

- Entrevistas;
- Prototipagem;
- Workshops e outros tipos de reunião;
- Cenários;
- Observação.

Embora o exposto acima tenha se referido ao uso da técnica no desenvolvimento de software, pode-se afirmar que algumas das ferramentas apresentadas também tem aplicabilidade na coleta de requisitos no contexto do desenvolvimento de produtos industriais; destacam-se, portanto, as entrevistas e workshops como os principais métodos de levantamento de requisitos usados no desenvolvimento de produtos e a prototipagem como um método mais recente (Goguem e Linde, 1993; Maiden e Rugg, 1996 apud Mohedas; Daly, Sienko, 2015).

Ainda de acordo com o que se observa em Weisnam et al (2017), outro tópico de grande importância na engenharia de requisitos é a rastreabilidade. Uma definição para a rastreabilidade, segundo é a seguinte:

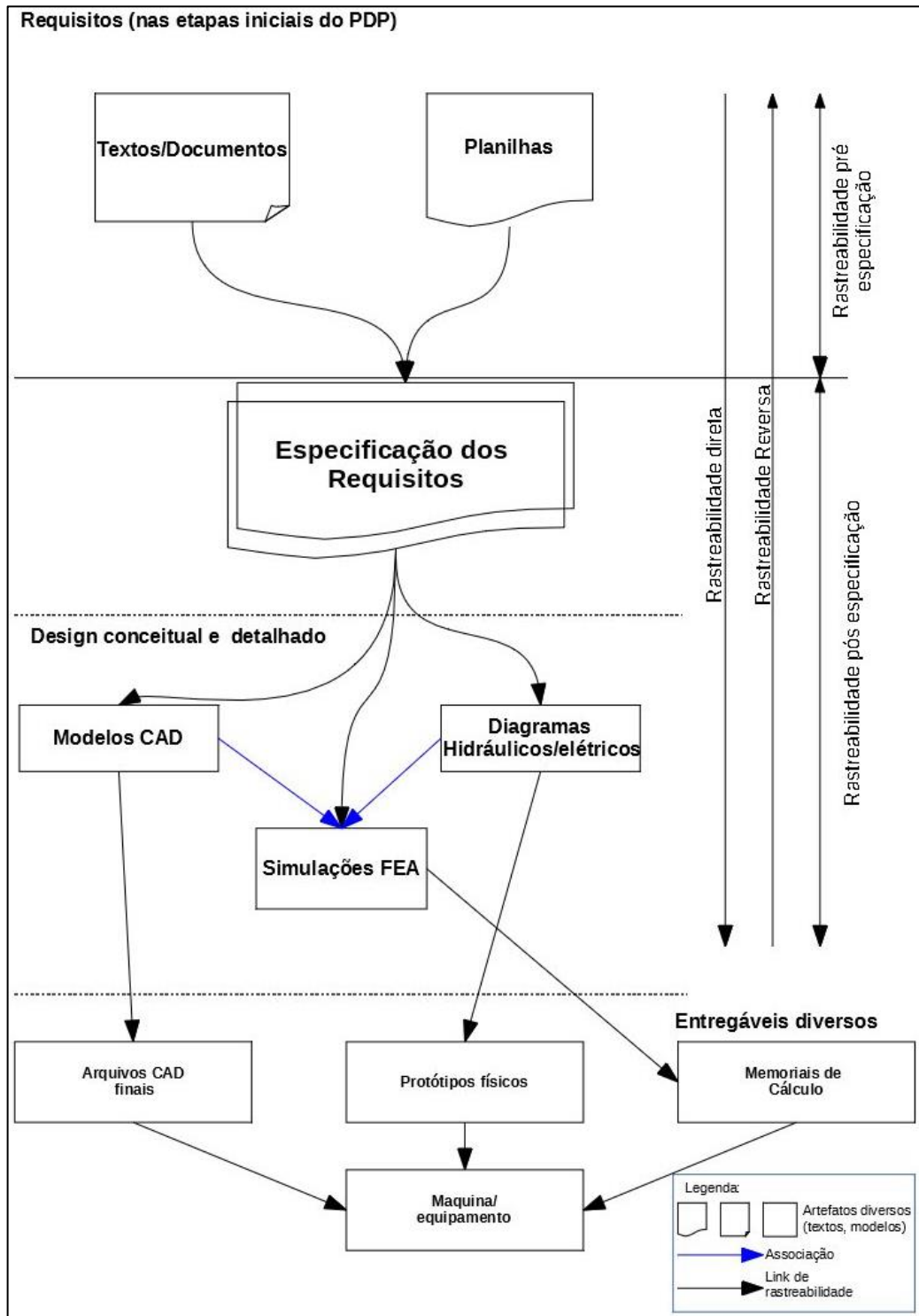
Rastreabilidade é a habilidade de descrever e seguir a vida de um requisito, tanto indo da situação atual à origem quanto indo em direção ao seu desenvolvimento e uso, e através de períodos de refinamento e iteração em qualquer uma destas fases (Gotel e Finkelstein 1997, p. 169, tradução nossa).

A rastreabilidade é um recurso extremamente útil para registro do histórico do desenvolvimento do produto, pois permite registrar com detalhes toda a evolução do processo de desenvolvimento: mudanças de requisitos, exclusões e adições dos mesmos, transformação de requisitos e fusão de uns com os outros, identificação dos profissionais envolvidos no projeto, em suas diversas etapas e em seus diversos domínios.

A rastreabilidade pode se dar entre diferentes níveis e também num mesmo nível. A rastreabilidade entre diferentes níveis representa o histórico do requisito, desde o referenciamento às suas origens quanto aos resultados obtidos com base em sua especificação consolidada (entregáveis do projeto, sejam protótipos, simulações computacionais ou o produto final propriamente dito). Já a rastreabilidade horizontal representa a relação de informações que estão num mesmo nível: isso inclui às possíveis formas de documentação dos requisitos que podem existir no contexto do PDP, como por exemplo o que está escrito em um documento eletrônico e num sistema dedicado à tarefa da gestão de requisitos.

Logo, de acordo com o exposto, pode-se notar que a rastreabilidade vertical representa a verificação da consistência entre os requisitos e os diversos resultados do processo de desenvolvimento de produtos e pode ser considerada a principal vertente do processo enquanto a rastreabilidade horizontal busca garantir a consistência das informações entre as diversas fontes independentemente da forma usada para a representação das mesmas. A Figura 7 ilustra esse processo de rastreabilidade, onde evidencia que as informações iniciais normalmente surgem em planilhas e documentos, são sintetizadas e formalizadas e se tornam guias para o desenvolvimento. Os conceitos de rastreabilidade direta e reversa se referem aos fatos de balizar o desenvolvimento (direta) e de verificar se o que está em desenvolvimento atende aos requisitos especificados (reversa).

Figura 7: Direções e dimensões dos links de rastreabilidade



Fonte: traduzido de Winkler e Von Pilgrim, 2010

Além da capacidade de ter seu histórico rastreado, existem outras propriedades que um requisito deve ter, segundo Coombes et.al (1994):

- Verificabilidade: um requisito deve ter a possibilidade de ser confrontado pelo cliente;
- Correção: deve ser capaz de refletir as reais necessidades do cliente;
- Entendimento: deve estar escrito de um modo tal que seja capaz de ser lido e entendido por qualquer que seja a pessoa que o verificará, sejam um engenheiro envolvido no projeto, seja o cliente final do produto ou qualquer outra parte interessada;
- Consistência: Um requisito deve estar escrito da mesma forma e ser interpretado da mesma maneira independente de onde ele esteja escrito;
- Suporte a diferentes níveis de detalhes: deve ser capaz de representar qualquer que seja a seção de uma máquina/equipamento/sistema, independente da complexidade dela;
- Possibilidade de ser modificado: para refletir evoluções oriundas do próprio processo de desenvolvimento de produtos ou mudanças nos desejos do cliente;
- Falta de ambiguidade: deve ser capaz de ser escrito de modo que não haja a possibilidade de existência de dúvidas em sua interpretação, independente de quem quer que leia o requisito;
- Possibilidade de ser anotado: o requisito deve ser capaz de ser gravado em qualquer meio que seja.

De acordo com o exposto acima, torna-se claro o motivo de a tarefa de gerenciar requisitos ser complicada: manualmente, gerenciar todos os aspectos que um requisito tem de modo eficiente é uma tarefa com elevado grau de possibilidade de erros humanos (grau que aumenta conforme a complexidade do modelo/projeto). Deste modo, uma das vertentes mais atuais no campo da engenharia de requisitos é a automação do processo de controle dos requisitos. Nesse sentido, várias ferramentas foram desenvolvidas com o objetivo de automatizar o processo de rastreabilidade de requisitos. Como exemplo, citam-se os softwares IBM Rational Doors, o RETRO, e o Rational Requisite Pro. Estas são ferramentas que suportam tanto a gestão de requisitos quanto o registro de rastreabilidade (Torkar, et.al, 2012). Estudos realizados indicaram que o uso destas ferramentas produziu resultados mais precisos na rastreabilidade de requisitos (Huang et.al, 2002; Hayes et.al (2003, 2007, 2016))

Outras ferramentas existentes são o Acclaro DFSS software e o Qualica. Ambos possuem, integrados em suas interfaces, módulos de construção de matriz QFD e de outras ferramentas ligadas ao design de produtos, e representam correlações entre as informações de modo matricial. (Suh e Doh, 2000).

Deste modo, o sucesso da implementação de uma metodologia de gerenciamento de requisitos passa também pela escolha das ferramentas que sejam mais adequadas ao âmbito do Processo de desenvolvimento de produtos e que, portanto, permitam uma representação de qualidade dos requisitos.

No que se refere às técnicas de rastreabilidade de requisitos, diversas foram criadas para solucionar falhas no tema. Pode-se destacar:

- Rastreabilidade de requisitos baseada em valor (*Value-based requirements traceability*): Em 2005, Heindl e Biffel fizeram um estudo onde perceberam que o esforço envolvido na rastreabilidade de requisitos poderia ser reduzido se os requisitos mais importantes fossem identificados e o maior esforço de rastreabilidade fosse direcionado a eles. Identificaram que essa redução de esforço chegou a 35%;
- Rastreabilidade de requisitos orientada a recursos (*Feature-oriented requirements traceability*): Chong e Ahn, em 2006, fizeram um estudo que identificou que o mapeamento de características chave do produto, a identificação e a priorização de requisitos, a construção de links de rastreabilidade. Os resultados desse estudo mostraram que a redução do esforço envolvido no processo variou de 24 a 72%, ocasionada por uma interligação concisa entre os requisitos e as características chave do produto;
- Rastreabilidade de requisitos pré-especificação (*Pre-RS requirements traceability*): em 2007, Ravichandar, Arthur e Perez-Quinones propuseram um método baseado na “engenharia de capacidades”, que é um método de desenvolvimento de sistemas tolerantes à mudança, via uso de abstrações funcionais. Os autores não apresentam evidências empíricas acerca da eficiência desse método mas afirmam que ela é útil na rastreabilidade;
- Rastreabilidade baseada em eventos (*Event-based traceability*): Em 2003, Huang et.al propuseram um método no qual os requisitos são interligados a

artefatos e, em caso de qualquer mudança, uma mensagem-evento é exibida em todos os artefatos afetados pela mudança;

- Matrizes de rastreabilidade: De acordo com Huang (2005), as matrizes de rastreabilidade sofrem de problemas de escalabilidade e problemas de manutenção.

Entre 2003 e 2010, outras 11 técnicas foram estudadas e desenvolvidas, sendo que somente algumas foram testadas empiricamente. (Torkar et.al, 2012).

Mais recentemente, a tendência aponta para o desenvolvimento e aprimoramento de linguagens específicas para a representação de requisitos. Nesse ínterim, linguagens representativas de estruturas, como o UML e o SysML foram desenvolvidas.

Para a validação dos requisitos, diversos métodos são indicados na literatura, sendo que a maioria são mais adequados ao campo da engenharia de software. No que se refere ao desenvolvimento de produtos, podem-se destacar os seguintes métodos aplicáveis:

- Prototipagem: envolve a criação de uma versão simplificada do sistema ou do componente que se está desenvolvendo e são usados, normalmente, quando não se há a certeza do significado ou da certeza de um ou mais requisitos. São classificados em dois tipos: os que são descartados quando os requisitos estão consolidados (Siddiqi et al., 1994) ou os evolucionários, que vão se modificando ao longo do processo de desenvolvimento de produtos. Este último tipo é o mais usado e o mais versátil, pois permite melhor visualização da evolução do sistema ao longo de seu desenvolvimento. Como pontos negativos, destacam-se o tempo despendido no seu desenvolvimento e maiores custos adicionados ao total do projeto (ANAS et al., 2016);
- Inspeção de requisitos: técnica mais eficaz (identifica de 50 a 90% dos erros nos requisitos) na eliminação de requisitos conflitantes (Leite, Freeman, 1991). Consiste em cinco etapas (planejamento, revisão geral, detecção de problemas, eliminação dos problemas e acompanhamento) que objetivam listar todos os requisitos, garantir a leitura e a compreensão deles pelas partes interessadas e a subsequente comparação dos requisitos uns com os outros de modo que conflitos possam ser identificados e corrigidos. Segundo Porter

et.al citado por ANAS et al., 2016, o procedimento de inspeção pode ser realizado em fases . Após a correção dos problemas, é feita a etapa de acompanhamento onde busca-se garantir que as mudanças necessárias tenham sido feitas a contento.

Abaixo, segue um quadro onde são apresentadas ferramentas de gestão de requisitos e as principais vantagens e lacunas.

Tabela 2: Quadro de vantagens e lacunas das ferramentas de gerenciamento de requisitos

Ferramentas	Vantagens	Lacunas
Acclaro DFSS	<ul style="list-style-type: none"> • Exibição de requisitos e relações entre requisitos de forma matricial; • Foco em requisitos funcionais; 	<ul style="list-style-type: none"> • Linguagem de representação proprietária; • Os requisitos são representados por meio de códigos alfanuméricos; • Ausência de controle sobre requisitos não funcionais
Qualica	<ul style="list-style-type: none"> • Exibição de requisitos e relações entre requisitos de forma matricial; • Foco em requisitos funcionais; 	<ul style="list-style-type: none"> • Linguagem de representação proprietária; • Ausência de controle sobre requisitos não funcionais
IBM Doors	<ul style="list-style-type: none"> • Integração com ferramentas CAD; • Uso de linguagem mais acessiva, com o uso de diagramas de blocos e linguagem natural 	<ul style="list-style-type: none"> • Linguagem de representação proprietária; • Incapacidade de diferenciar entre requisitos e restrições e as diferentes relações entre eles

Fonte: autoria própria

Tabela 3: Quadro de vantagens e lacunas das ferramentas de gerenciamento de requisitos (continuação)

Ferramentas	Vantagens	Lacunas
Teamcenter Systems Engineering	<ul style="list-style-type: none"> • Integração com ferramentas CAD proprietárias; • Fácil uso, comparativamente às outras ferramentas apresentadas 	<ul style="list-style-type: none"> • Gerenciamento de cada aspecto de relação entre requisitos por um módulo independente; • Não há qualquer forma de representação de restrições

Fonte: autoria própria

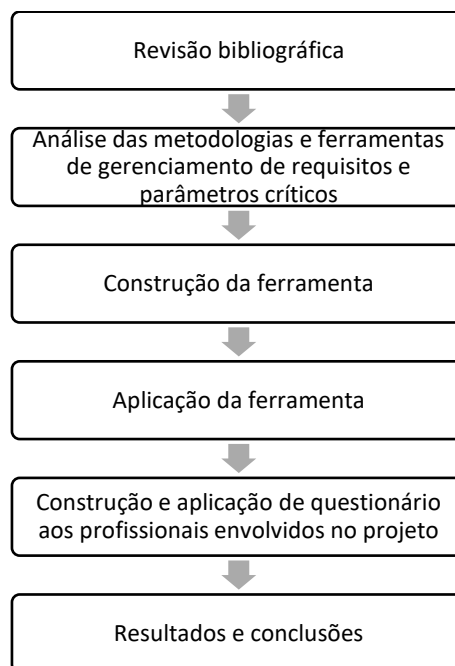
3. METODOLOGIA

A pesquisa aqui presente é do tipo aplicada, que tem como objetivo, segundo Silva e Menezes (2001), gerar conhecimentos que possam ser aplicados em situações cotidianas, práticas ou seja: ela leva em consideração interesses e verdades específicas e restritas.

Para a coleta de dados, o questionário estruturado foi adotado como a ferramenta principal. Ele foi composto tanto por questões abertas quanto de múltipla escolha.

A metodologia a ser adotada neste trabalho é a seguinte:

Figura 8: Metodologia a ser adotada no trabalho



Fonte: autoria própria

Etapa 1: revisão bibliográfica

Foram realizados levantamentos do estado da arte, com o objetivo primário de prover embasamento teórico acerca dos seguintes temas:

- O processo de desenvolvimento de produtos;
- O gerenciamento de requisitos de projeto;
- O gerenciamento de requisitos críticos;

- Métodos e linguagem de representação de requisitos;
- Ferramentas de automação de gerenciamento de requisitos.

Etapa 2: análise das metodologias e ferramentas de gerenciamento de requisitos

Analisou-se as principais metodologias e ferramentas de gerenciamento de requisitos de modo se identificar suas particularidades e formas de operação. Com base nisso, buscou-se identificar lacunas no processo atual de gestão dos requisitos e requisitos críticos. Também, buscou-se a identificação de métodos e ferramentas usados tanto nos campos do gerenciamento de requisitos sobretudo os relacionados ao gerenciamento de requisitos críticos (*Critical parameter management - CPM*). Além disso, tanto metodologias que empregam ferramentas automatizadas como métodos manuais foram pesquisadas.

Etapa 3: Construção e apresentação da ferramenta

A ferramenta é apresentada e as informações que devem ser postas nela são detalhadas. Em síntese, deve-se:

- Identificar os requisitos mais importantes, com o método QFD;
- Desdobrar dos requisitos até onde isso não seja mais possível, com a finalidade de se fazer mapeamento das especificações técnicas mais importantes;
- Representar em formato diagramático os requisitos e destacando os requisitos críticos;
- Mapear as funções que deverão ser desempenhadas pelo produto/subsistema em análise;
- Mapear os sistemas, subsistemas e componentes do projeto/produto em estudo;
- Codificar as funções e os sistemas/subsistemas e componentes;
- Apresentar a ferramenta aos envolvidos no (s) projeto (s).

Etapa 4: Aplicação da ferramenta

A ferramenta foi verificada pelos profissionais envolvidos no projeto, de modo que sua usabilidade viesse a ser medida.

Etapa 5: Construção e aplicação de questionário aos profissionais envolvidos no projeto

Um questionário foi aplicado de modo a captar as percepções dos entrevistados sobre a ferramenta proposta e verificar se o conjunto recomendações-ferramenta é aderente ao ambiente onde foi aplicado.

Etapa 6: Resultados e conclusões

Com base nos resultados dos questionários serão avaliadas a efetividade e identificadas as possíveis falhas no método proposto. As principais métricas pelas quais o método será avaliado são:

- A efetividade na comunicação das informações;
- A estruturação das informações;
- A percepção de interdependência entre os dados exibidos;
- Possíveis lacunas no método.
- A percepção acerca do domínio do conhecimento a que cada requisito pertence;

Posterior a essa análise, serão inferidas as principais conclusões, a serem obtidas a partir da análise dos questionários.

3.1. Identificação de lacunas no processo de gerenciamento de requisitos e de requisitos críticos

Com base na revisão bibliográfica realizada, as seguintes lacunas foram encontradas:

- Dentre os métodos de apoio ao gerenciamento de requisitos, a matriz de rastreabilidade de requisitos está entre os mais usados. Porém ela pode se tornar difícil de ser lida à medida em que o número de requisitos aumenta;
- Métodos de representação gráfica permitem maior e melhor compreensão e absorção das informações que estão sendo transmitidas;
- As matrizes de rastreabilidade atuais não proveem uma visão integrada da arquitetura do sistema com os requisitos de cada um deles e não proveem espaços para que haja comparação entre os valores que foram determinados em cálculos e simulações e entre os que correspondem às especificações dos componentes que foram selecionados;
- As restrições às quais um sistema pode estar submetido não são exibidas nas matrizes de rastreabilidade;
- Normalmente não se exibem os domínios de conhecimento aos quais cada requisito pode ser atribuído;
- Pouco destaque é dado aos requisitos de maior importância, que servem de base para os requisitos críticos;
- As ferramentas de gerenciamento existentes trazem dificuldades de uso: algumas dependem de submódulos para lidar com os vários aspectos da gestão dos requisitos enquanto outras usam matrizes para correlacionar requisitos, funções e componentes, o que pode dificultar a leitura das informações.

Portanto, as recomendações aqui propostas buscam sanar essas deficiências ao transformar a matriz de rastreabilidade de requisitos em um diagrama de rastreabilidade de requisitos, no qual a arquitetura do sistema é exibida justamente com os requisitos a serem seguidos e gerenciados ao longo do processo de desenvolvimento de produtos, bem como às restrições técnicas e normativas. Além disso, os requisitos críticos também são mapeados e exibidos na ferramenta.

4. A FERRAMENTA PROPOSTA

A ferramenta proposta é constituída por 6 campos, conforme figuras 8 e 9. Antes, faz-se necessária a seguinte diferenciação entre requisitos e restrições: requisitos são premissas que descrevem as funções e recursos do sistema, sendo estes derivados das vontades e necessidades dos clientes. Já as restrições representam limitações ao desenvolvimento do projeto (Hirshorn, Voss e Bromley, 2017).






As informações contidas em cada campo são:

- Na seção “requisitos do sistema/subsistema” devem ser postos os requisitos desdobrados a partir daqueles oriundos da análise QFD;
- Na seção “restrições”, devem ser elencados os fatores que sejam limitantes ao desenvolvimento do sistema/subsistema. Requisitos normativos e os que tem correlação negativa com os dos subsistemas em questão entram nesse campo;
- Na seção “Especificações críticas”, os menores fatores de influência sobre o desempenho do sistema/subsistema devem ser identificados. Propõe-se registrar os valores que foram previstos em cálculos e/ou simulações do sistema e, ao longo do projeto, registrar os valores que foram especificados;
- Na segunda página da ferramenta, propõe-se a colocação de uma tabela onde cada requisito seja detalhado do seguinte modo: seja descrito, seja classificado, tenha um valor meta, e que a ele seja atribuído uma área do conhecimento. A síntese funcional também deve ser posta nesta mesma página.

O preenchimento da ferramenta deve seguir as seguintes etapas:

Os requisitos funcionais derivados dos requisitos dos clientes devem ser postos no campo 1. Eles devem ser desdobrados até o ponto em que isso não seja mais possível. Na ferramenta, os requisitos identificados como os mais importantes devem ser representados de modo destacado, o que permite que atenção especial seja dada a eles.

Figura 9: Layout da ferramenta para gestão de requisitos - pág. 1

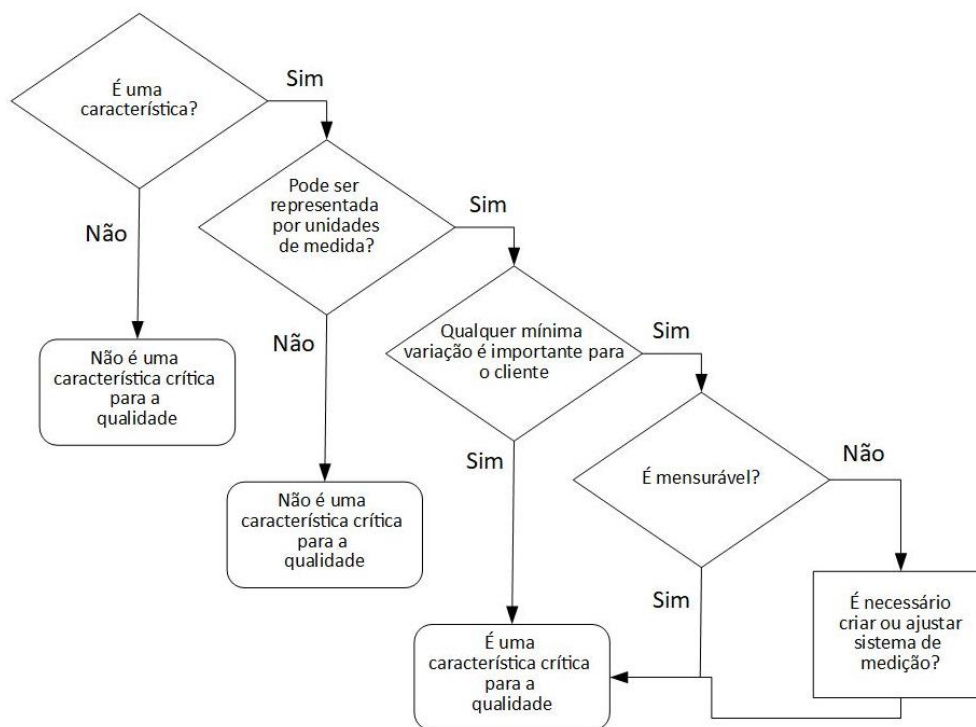
Quadro de requisitos e especificações críticas - Subsistema xxx			PROJETO XXX	REV. 00 Elaborado por: xxxxxx Data:	1/2
Componentes do subsistema	Requisitos do subsistema	Especificações Críticas			
  Restrições 					

Fonte: autoria própria

Propõe-se que os requisitos mais importantes sejam identificados por duas vias:

- pela pontuação obtida na matriz QFD, onde permite-se ter uma primeira indicação do que é mais importante para a percepção de qualidade pelos clientes do projeto (Rozenfeld et.al, 2006);
- com o auxílio do fluxograma proposto por Sleeper (2006), que traz a seguinte sistemática (Figura 11):

Figura 11: Fluxograma de processo de escolha de parâmetros críticos



Fonte: traduzido de Sleeper (2006, p. 695)

Para que ambiguidades sejam evitadas, os requisitos devem ser escritos conforme as diretrizes recomendadas pela NASA (Hirshorn, Voss e Bromley, 2017):

- Os requisitos devem ser escritos com a estrutura: “quem/o que faz” + Verbo + o que é feito, sendo que o verbo a ser usado é o “deve”;

- Para que um requisito possa ser mensurado, os valores-meta devem ser associados a ele. Segundo Hirshorn, Voss e Bromley (2017), os valores-meta são requisitos de performance associados aos requisitos funcionais.
- Em caso de indefinições acerca dos valores-meta, recomenda-se marca-lo com a identificação “a ser determinado”; no caso em que o requisito tenha sido representado por valores aproximados, recomenda-se marca-lo com a identificação “a ser resolvido”

Após a identificação dos mínimos requisitos, esses devem ser transpostos ao campo 2. O objetivo deste campo é destacar os mínimos fatores de influência no atendimento aos requisitos de mais alto nível. Para que isso seja reforçado, deve-se colocar lado a lado valores desejados, que podem ser obtidos de cálculos e simulações bem como o que foi de fato especificado. Isso objetiva verificar o nível de desvio em relação ao especificado;

No campo 3, deve-se representar o desdobramento em sistemas, subsistemas e componentes e codificar cada um dos entes que foram representados. Isso permitirá a associação dos requisitos aos componentes que devem atendê-los e isso permite, de acordo com Browning (2001) e Rozenfeld et.al (2006), um melhor entendimento a respeito dos sistemas complexos, por permitir a representação e visualização de cada componente do sistema bem como mostrar a relação entre cada um dos subsistemas.

No campo 4, devem ser postas as restrições às quais o sistema está submetido. Aqui, os requisitos normativos e quaisquer outros requisitos de cliente que tenham correlação negativa com os requisitos do sistema/subsistema em análise devem ser postos nesse campo. Para identificação das correlações negativas entre os requisitos, recomenda-se a observação do teto da matriz QFD dos requisitos dos clientes.

Na segunda página da ferramenta, devem ser postas o detalhamento dos requisitos (campo 5) e uma tabela com a síntese funcional (campo 6). Novamente, cada uma das informações presentes deve ter identificadores únicos associados, de modo que possa também haver a associação entre requisitos e funções. A representação detalhada dos requisitos torna-se necessária para esclarecimentos bem como a identificação de quais os responsáveis por cada um dos requisitos.

Os requisitos devem ser detalhados do seguinte modo:

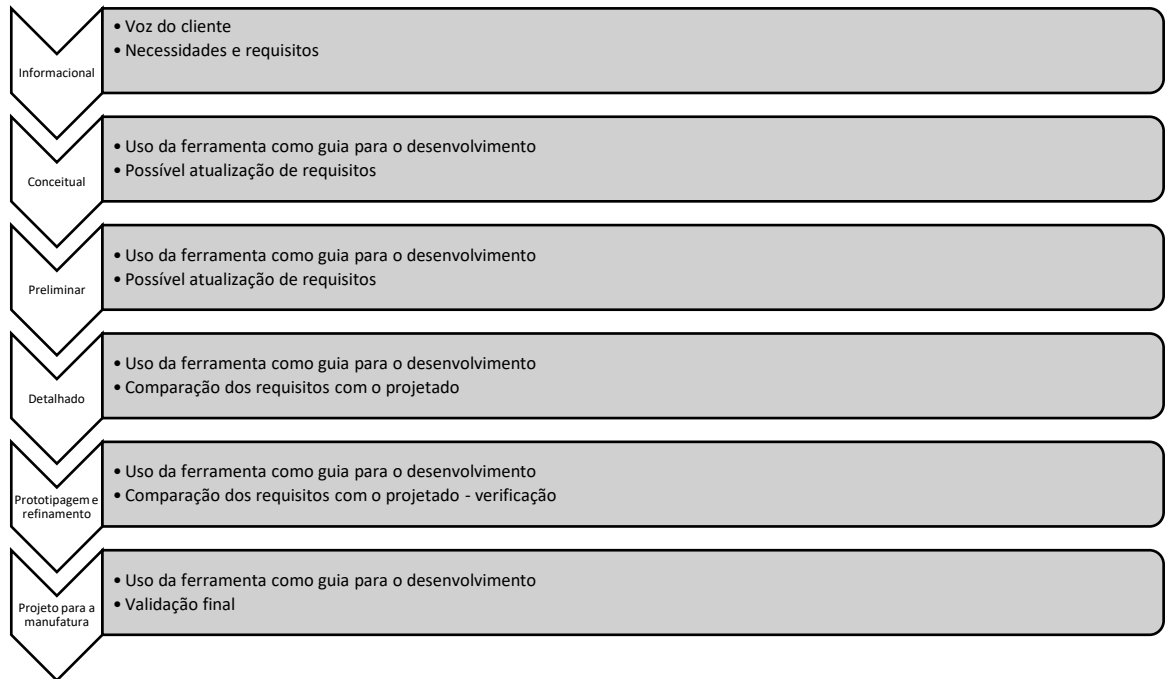
- Os valores-meta ou requisitos de performance associados a cada um dos resultados. A atribuição de valores deve tanto obedecer às necessidades dos clientes quanto serem propostos pelos especialistas envolvidos no desenvolvimento do projeto,
- A classificação de cada um dos requisitos em funcional ou não funcional;
- A atribuição de uma área do conhecimento ao qual o requisito está associado. Recomenda-se essa ação de modo a que o acompanhamento de cada requisito seja feito por um profissional especializado adequado. No caso de um requisito interdisciplinar, a sua evolução deve ser acompanhada por profissionais
- Método de verificação adotado: há quatro principais formas de se verificar o atendimento a um determinado requisito: testes, inspeções, análises e questionários (Oliver, Kelliher e Keegan, 1997).

Após o preenchimento dos campos, segue-se à alocação das funções aos requisitos bem como a atribuição dos requisitos aos sistemas/subsistemas e componentes identificados no campo Y. Isso é feito ao se transporem os códigos das funções e dos sistemas/subsistemas e componentes para junto dos requisitos desdobrados na etapa 1. Isso permite ter uma compreensão visual das relações entre essas informações, o que facilitará a compreensão de todo o projeto por parte dos envolvidos.

Após a construção, a ferramenta deve ser exibido durante as reuniões de acompanhamento do projeto, de modo a permitir uma verificação rápida acerca da evolução do desenvolvimento do sistema/subsistema. Deve-se ressaltar que tanto a construção quanto as modificações em nas informações presentes na ferramenta devem ser feitas em grupo, de modo a fomentar a geração e a difusão do conhecimento (Alexander, Bresciani e Eppler, 2015) mas que a gestão desse documento deve ficar a cargo, preferencialmente, do líder técnico do projeto.

No processo de desenvolvimento de produtos existente na ICT na qual o presente trabalho foi desenvolvido, a ferramenta tem seu uso iniciado na etapa informacional, na qual é construída. À medida em que as outras etapas forem se sucedendo, a ferramenta continuará a ser usada como guia para o desenvolvimento, de modo a garantir que o que for desenvolvido esteja em conformidade com o requerido.

Figura 12: Momentos de uso da ferramenta de gerenciamento de requisitos



Fonte: autoria própria

No que se refere à construção, recomenda-se que esta seja mediada pelo líder técnico e pelo gerente do projeto, de acordo com as informações levantadas e revisadas junto ao cliente. Após construída, ela deve ser disponibilizada, para consulta, a todos os integrantes do projeto, de modo que cumpra seu papel como guia ao desenvolvimento. Se houver a necessidade de mudanças em requisitos, estas devem ser comunicadas aos líderes técnico e gerencial para que a ferramenta seja atualizada.

5. PREENCHIMENTO E APLICAÇÃO DA FERRAMENTA

5.1. Primeira aplicação da ferramenta

A aplicação realizada no desenvolvimento de uma máquina de circulação extracorpórea. Tal equipamento tem como função a substituição das funções do coração e do pulmão durante procedimentos cirúrgicos de perfusão regional e desvio cardiopulmonar (Souza e Elias, 2006).

O sangue deve ser mantido com temperatura entre 35 e 37,5 °C. Deste modo, um sistema de refrigeração e aquecimento é necessário para que o controle exista. A literatura técnica da área indica que deve existir um gradiente de 10°C entre o fluido de aquecimento/resfriamento (água, normalmente) e o sangue. Além disso, a taxa de aquecimento ou resfriamento do sangue não pode ser superior à 1 °C/min, de modo que não haja danos às hemácias (Souza e Elias, 2006). Portanto, para aplicação do estudo, foi selecionado o sistema de refrigeração por ser um sistema crítico à vida do paciente.

O contexto no qual o equipamento foi desenvolvido é o de uma instituição de ciência e tecnologia (ICT) que tem como principais características a multidisciplinaridade de atuação e a simultaneidade de execução de projetos; no ambiente, os profissionais da instituição comumente atuam em diversos projetos de modo simultâneo. Logo, a criação de ferramentas que apoiem a visualização das informações e que facilitem a comunicação intraequipe encontra ampla aplicabilidade, por aumentar a coesão entre os membros da equipe de desenvolvimento e facilitar a criação e a disseminação de conhecimento, conforme dito por Eppler e Burkhard, (2005, pág. 551, apud Hall e Virrantaus, pág. 1).

5.1.1. Levantamento das necessidades dos clientes.

Nesse projeto, foram realizadas três reuniões (um dos principais métodos de coleta de informações de projetos, segundo Rozenfeld et.al (2006) e ALMEFELT et al., (2006) com o cliente com o objetivo de planejar o projeto, acertar detalhes de execução e esclarecer quais as principais necessidades de todos os clientes do projeto. São eles:

- Empresa;
- O principal operador do equipamento, o perfusionista;
- A ABNT;
- Os hospitais, nos quais a máquina estará em operação.

As necessidades identificadas nas reuniões com os clientes foram mostradas na Tabela 4. De início, buscou-se fazer a separação das necessidades de cada cliente do projeto. Um benefício claro do agrupamento das necessidades, segundo Rozenfeld et.al, (2006) é a identificação facilitada de quaisquer repetições de necessidades entre os diferentes clientes e sua posterior eliminação.

Tabela 4: Listagem das necessidades dos clientes do projeto MCEC II

Necessidade	Cliente requerente
Sensação tátil na operação da máquina	Perfusionista
Baixa altura em relação ao nível do piso	
Fácil movimentação	
Custo compatível com o mercado e adequado à tiragem do equipamento	Empresa
Possuir vida útil adequada ao mercado	
Melhor controle de temperatura da água	
Fácil visualização das informações de funcionamento da máquina	
Manter operação em caso de falhas no fornecimento de energia	
Melhorar o sistema de aquecimento e resfriamento da água	
Reduzir dimensões globais da máquina	
Gravação de logs de operação (pressão, temperatura, erros e alarmes)	
Proteção contra exclusão dos logs de operação	
Fluxo pulsátil em somente um dos módulos	
Porta de troca de dados na base da máquina	
Encaixe dos sensores na base da máquina	
Medição de temperatura ambiente, do paciente, e da entrada e da saída de água	
Sensor de bolha	
Sensor de pressão	
Sensor de temperatura	
Sensor de nível de sangue	
Possuir sensor de oximetria	
Transmissão de alarmes sobre a ocorrência de bolhas somente para o módulo de bombeamento	
Operação independente do módulo de cardioplegia	

Operação segura	
Melhor capacidade de higienização	
Adequação garantida aos descartáveis Medicor/MDI	Empresa
Não causar interferências eletromagnéticas em outros equipamentos	ABNT/Normas associadas
Controle preciso das variáveis fisiológicas	
Proteção contra choques elétricos	

Fonte: autoria própria

5.1.2. Requisitos iniciais do produto

A etapa posterior à coleta das necessidades dos clientes é a da reescrita deles, na forma de requisitos técnicos (Rozenfeld et.al, 2006). Essa tarefa pode se tornar muito dificultada, à medida em que a quantidade de necessidades dos clientes cresce. Por isso, novamente segundo Rozenfeld et.al (2006), as necessidades devem se manter numa mínima quantidade necessária a um bom andamento do projeto.

Os requisitos devem ser parametrizáveis e possíveis de serem checados por métodos de verificação recomendados na literatura e pertinentes ao projeto em desenvolvimento. Ressalta-se, porém, que nesta etapa ainda não são atribuídos valores aos requisitos. A atribuição de valores aos requisitos de projeto irá gerar o documento de especificações meta.

Tabela 5: Desdobramento de necessidades em requisitos técnicos.

Cliente requerente	Necessidade do cliente	Requisitos técnicos associados
Perfusionista	Sensação tátil na operação da máquina	Resolução/incremento dos controladores de velocidade; Número de botões físicos.
	Baixa altura em relação ao nível do piso	Dimensões máximas globais; Dimensões individuais dos módulos.
	Fácil movimentação	Massa do equipamento; Força de propulsão em superfície plana e lisa; Número de materiais de construção mecânica.
Empresa	Custo compatível com o mercado e adequado à tiragem do equipamento	Custo de aquisição; Custos de operação; Custos de manutenção; Número de materiais de construção mecânica; Dimensões máximas globais;

		Número de configurações.
	Possuir vida útil adequada ao mercado	Anos de uso; MTBF.
	Melhor controle de temperatura da água	Taxa de aquecimento/resfriamento de $\leq 1^{\circ}\text{C}/\text{min}$ na temperatura da água Resolução do controle de temperatura da água.
	Fácil visualização das informações de funcionamento da máquina	Número de operações necessárias ao acesso de informações.
	Manter operação em caso de falhas no fornecimento de energia	Autonomia da máquina; Autonomia do módulo de cardioplegia
	Reduzir dimensões globais da máquina	Dimensões máximas globais (LxAxP); Dimensões individuais dos módulos (LxAxP)
	Gravação de logs de operação (pressão, temperatura, erros e alarmes)	Protocolo de troca de dados; Tamanho do armazenamento de dados
	Proteção contra exclusão dos logs de operação	Número de protocolo de troca de dados
	Fluxo pulsátil em somente um dos módulos	Quantidade de módulos com fluxo pulsátil; Número de configurações.
	Porta de troca de dados na base da máquina	Número de protocolo de troca de dados.
	Encaixe dos sensores na base da máquina	Nº de encaixe para sensores na base.
	Medição de temperatura ambiente, do paciente, e da entrada e da saída de água	Sensor de temperatura de água; Sensor de temperatura corporal;
	Sensor de bolha	Capacidade de detecção de bolhas de 300 μm a 5 mm; Exibição de alarmes sobre a ocorrência de bolhas.
	Sensor de pressão	Medição de pressão sanguínea.
	Sensor de temperatura de água	Medição de temperatura da água; Taxa de aquecimento/resfriamento de $\leq 1^{\circ}\text{C}/\text{min}$ na temperatura da água.
	Sensor de nível de sangue	Medição de nível de sangue.
	Sensor de oximetria	Medição de nível de oxigênio no sangue.
	Transmissão de alarmes sobre a ocorrência de bolhas somente para o módulo de bombeamento	Protocolo de troca de dados; Informações a serem exibidas nos visores
Empresa	Operação independente do módulo de cardioplegia	Autonomia do módulo de cardioplegia
	Operação segura	Atendimento à NBR 60601; Autonomia em operação com baterias; Autonomia do módulo de cardioplegia;

		Valor mínimo de raios de canto; Exibição de alarmes sobre a ocorrência de bolhas; Conector de alimentação a prova de erros.
	Melhor capacidade de higienização	Materiais de construção mecânica; Valor mínimo de raios de canto; Número de materiais de construção mecânica.
	Adequação garantida aos descartáveis Medicor/MDI	Adequação aos descartáveis Medicor/MDI
	Proteção contra choques elétricos	Atendimento à norma ABNT NBR 60601; Conector de alimentação a prova de erros.
Hospitais	Adequação à rede/instalação elétrica	Conector de alimentação a prova de erros; Tensão de alimentação/frequência; Atendimento à norma ABNT NBR 60601
ABNT	Atendimento à norma ABNT NBR 60601	Atendimento à norma ABNT NBR 60601

Fonte: autoria própria

5.1.3. Matriz QFD e correlação entre necessidades e requisitos

A próxima etapa consistiu na transformação das necessidades em requisitos, a determinação da importância de cada um deles e a determinação da natureza e do grau de correlação entre os próprios requisitos. Usou-se, para isso, o método QFD.

O telhado da matriz QFD indica as relações entre os requisitos técnicos e serve como um indicador de compromissos que possivelmente necessitarão ser feitos durante o projeto. (SHEN; TAN; XIE, 2000).

A inovação nos projetos pode ser conseguida pela observância às inter-relações indicados nessa matriz. Ela pode se dar pela maneira como a equipe de desenvolvimento busca soluções para os requisitos que tem impacto negativo uns com os outros. Logo, muito além de somente informar a natureza da inter-relação entre os requisitos técnicos, o teto da matriz QFD traz informações que podem conduzir a potenciais inovações (SHEN; TAN; XIE, 2000).

Tabela 6: Identificação dos requisitos.

Letra	Requisito	Tendência objetivo	Unidade de medida
A	Autonomia em operação com baterias	↑	minutos
B	Resolução dos controladores de velocidade	↑	%
C	Nº de botões físicos	↑	#
D	Dimensões máximas globais	↓	mm
E	Dimensões individuais dos módulos	↓	mm
F	Massa do equipamento	↓	Kg
G	Massa individual dos módulos	↓	Kg
H	Força de propulsão em superfície plana e lisa	↓	N
I	Nº de materiais de construção mecânica	↓	#
J	Resolução do controle de temperatura da água	↑	%
K	Taxa de variação da temperatura da água	↓	°C/min
L	Autonomia do módulo de cardioplegia	↑	minutos
M	Nº de operações necessárias ao acesso de informações	↓	#
N	Nº de protocolos de troca de dados	↓	#
O	Tamanho do armazenamento de dados	↑	GB
P	Nº de encaixe para sensores na base	↑	#
Q	Nº de configurações	↑	#
R	Custo de aquisição	↓	R\$
S	Custo de operação	↓	R\$
T	Custo de manutenção	↓	R\$
U	Anos de uso	↑	Anos
V	MTBF	↑	Horas
W	Exibição de alarmes sobre a ocorrência de bolhas	↑	-
X	Quantidade de módulos com fluxo pulsátil	↑	#
Y	Capacidade de medição de bolhas de 300 µm a 5 mm	↑	mm
Z	Medição da pressão sanguínea	↑	mmHg
AA	Medição do nível de oxigênio do sangue	↑	
BB	Medição do nível de sangue	↑	mm
CC	Valor mínimo de raios de canto	↑	mm
DD	Adequação aos descartáveis médicos Medicor	↑	-
EE	Atendimento à NBR 60601	↑	-
FF	Conector de alimentação elétrica à prova de erros	↑	-
GG	Tensão de alimentação/frequência	↓	V/Hz

Fonte: autoria própria

O telhado da matriz está exibido na Figura 13, página 72.

5.1.4. Especificações-meta

Após a coleta da voz do cliente e sua posterior transformação em requisitos do cliente, parte-se para a definição das especificações meta. Então:

Para se obter uma comunicação precisa durante o desenvolvimento do projeto de um produto, torna-se fundamental que as informações que irão caracterizar o produto estejam de acordo com a linguagem técnica de engenharia. Ou seja, torna-se necessário dizer em números – expressão essa que significa que o produto a ser desenvolvido deve ser descrito por meio de características técnicas, possíveis de serem mensuradas por algum tipo de sensor (ROZENFELD ET.AL, 2006, p. 223).

Deste modo com base no reconhecimento da voz do cliente, feita nas reuniões entre a equipe técnica de desenvolvimento e os clientes, a identificação de requisitos normativos específicos e a posterior avaliação e valoração dos requisitos pelo uso da matriz QFD, chega-se ao documento de especificações-meta, mostradas na Tabela 7.

Deve-se notar que ao lado do valor-meta é definido um método pertinente de verificação de modo a permitir, durante o desenvolvimento, a verificação quanto ao correto atendimento aos requisitos.

Tabela 7: Especificações-meta do projeto MCEC II

Letra	Requisito	Valor meta
A	Autonomia em operação com baterias	30 minutos
B	Resolução dos controladores de velocidade	1%
C	Nº de botões físicos	Max. 10 botões
D	Dimensões máximas globais	1036 x 600 x 1485
E	Dimensões individuais dos módulos	175 x 70 x 130
F	Massa do equipamento	100 kg
G	Massa individual dos módulos	< 20 kg
H	Força de propulsão em superfície plana e lisa	< 200 N
I	Nº de materiais de construção mecânica	< 10 tipos
J	Resolução do controle de temperatura da água	1%
K	Taxa de aquecimento/resfriamento de $\leq 1^{\circ}\text{C} / \text{min}$ na temperatura da água	$\pm 1^{\circ}\text{C}$
L	Autonomia do módulo de cardioplegia	30 minutos
M	Nº de operações necessárias ao acesso de informações	4 operações
N	Nº de protocolos de troca de dados	1 (RS 485)

O	Tamanho do armazenamento de dados	2 GB
P	Nº de encaixe para sensores no módulo base	6 encaixes
Q	Nº de configurações	3 configurações
R	Custo de aquisição	R\$ 100.000,00
S	Custo de operação	
T	Custo de manutenção	
U	Anos de uso	Mínimo de 10 anos
V	MTBF	
W	Exibição de alarmes sobre a ocorrência de bolhas	2 tipos (sonoro e visual)
X	Quantidade de módulos com fluxo pulsátil	1 módulo
Y	Capacidade de medição de bolhas de 300 µm a 5 mm	300 µm a 5 mm (Máx. de 1/3 do diâmetro interno da tubulação, na linha arterial)
Z	Medição da pressão sanguínea	2 sensores não invasivos
AA	Medição do nível de oxigênio do sangue	Retirado
BB	Medição do nível de sangue	2 sensores de nível, capacitivos
CC	Valor mínimo de raios de canto	≤ 5mm
DD	Adequação aos descartáveis médicos Medicicor	
EE	Atendimento à NBR 60601	Atendimento integral às partes obrigatórias; Atendimento desejável às partes não obrigatórias
FF	Conector de alimentação elétrica à prova de erros	1 conector (no módulo base)
GG	Tensão de alimentação/frequência	220 V/ 60 Hz

Fonte: autoria própria

5.1.5. Priorização dos requisitos

Após a definição dos requisitos de produto, passa-se à etapa de priorização dos mesmos. A matriz QFD foi preenchida por 4 técnicos da ICT e 2 técnicos da empresa cliente.

Para cada cliente do projeto, foram atribuídos os seguintes pesos:

- Perfusionista: 30%;
- Empresa: 60%;
- Hospitais: 10%.

Após isso, preencheu-se a matriz de relacionamentos entre as necessidades e os requisitos, chegando-se à priorização dos requisitos do produto. O resultado é mostrado na , em ordem decrescente de prioridade na Tabela 8.

Tabela 8: Priorização dos requisitos da MCEC II (em ordem decrescente de importância).

Requisito de produto	Pontuação na análise QFD
Atendimento à NBR 60601	337
Custo de aquisição	309
Autonomia do módulo de cardioplegia	265
Custo de operação	258
Quantidade de módulos com fluxo pulsátil	248
MTBF	237
Dimensões individuais dos módulos	229
Autonomia em operação com baterias	228
Varição de $\pm 1^{\circ}\text{C}$ na temperatura da água	223
Capacidade de detecção de bolhas 300 μm a 5 mm	222
Nº de configurações	222
Medição do nível de oxigênio do sangue	219
Custo de manutenção	218
Anos de uso	202
Exibição de alarmes sobre a ocorrência de bolhas	202
Dimensões máximas globais	200
Massa do equipamento	185

Massa individual dos módulos	185
Nº de protocolos de troca de dados	185
Medição do nível de sangue	183
Resolução dos controladores de velocidade	155
Tamanho do armazenamento de dados	148
Medição da pressão sanguínea	144
Nº de materiais de construção mecânica	143
Resolução do controle de temperatura da água	130
Nº de operações necessárias ao acesso de informações	130
Nº de botões físicos	121
Conector de alimentação a prova de erros	114
Nº de encaixe para sensores na base	105
Tensão de alimentação elétrica/freq. operação	89
Força de propulsão em superfície plana e lisa	77
Valor mínimo de raios de canto	73
Adequação aos descartáveis médicos Medicicor	35

Fonte: autoria própria

5.1.6. Desdobramento do equipamento em sistemas, subsistemas e componentes

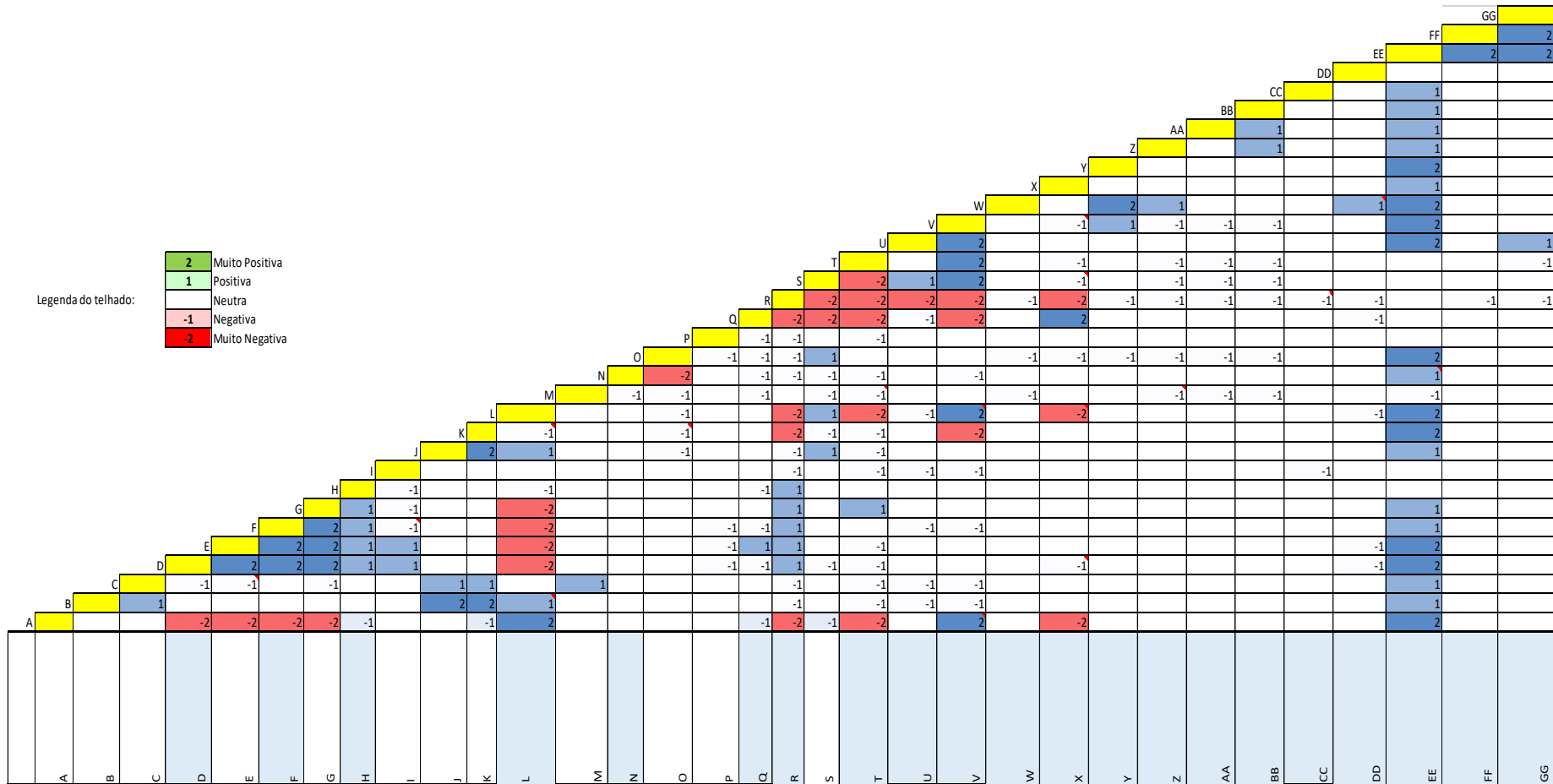
O desdobramento, do produto que está sendo desenvolvido, em sistemas, subsistemas e componentes é uma tarefa bastante importante no processo de desenvolvimento de produtos (PDP). Tal atividade permite, por exemplo a associação dos processos de fabricação à cada um deles, com base na análise dos requisitos dos clientes (Rozenfeld et.al, 2006).

Na etapa de desenvolvimento conceitual, “é realizado um processo top-down [...] de raciocínio para a definição desses elementos” (Rozenfeld et.al. 2006, pág.294). No projeto detalhado, por sua vez, “é realizado um processo botton-up [...] no qual são integrados os componentes, sistemas e subsistemas, sucessivamente, até o produto final” (Rozenfeld et.al. 2006, pág.294).

O projeto do equipamento usado no estudo de caso, sendo uma evolução do projeto anterior, já possui uma estrutura de sistemas, subsistemas e componentes mapeada de modo detalhado. Porém uma nova análise torna-se necessária visto que

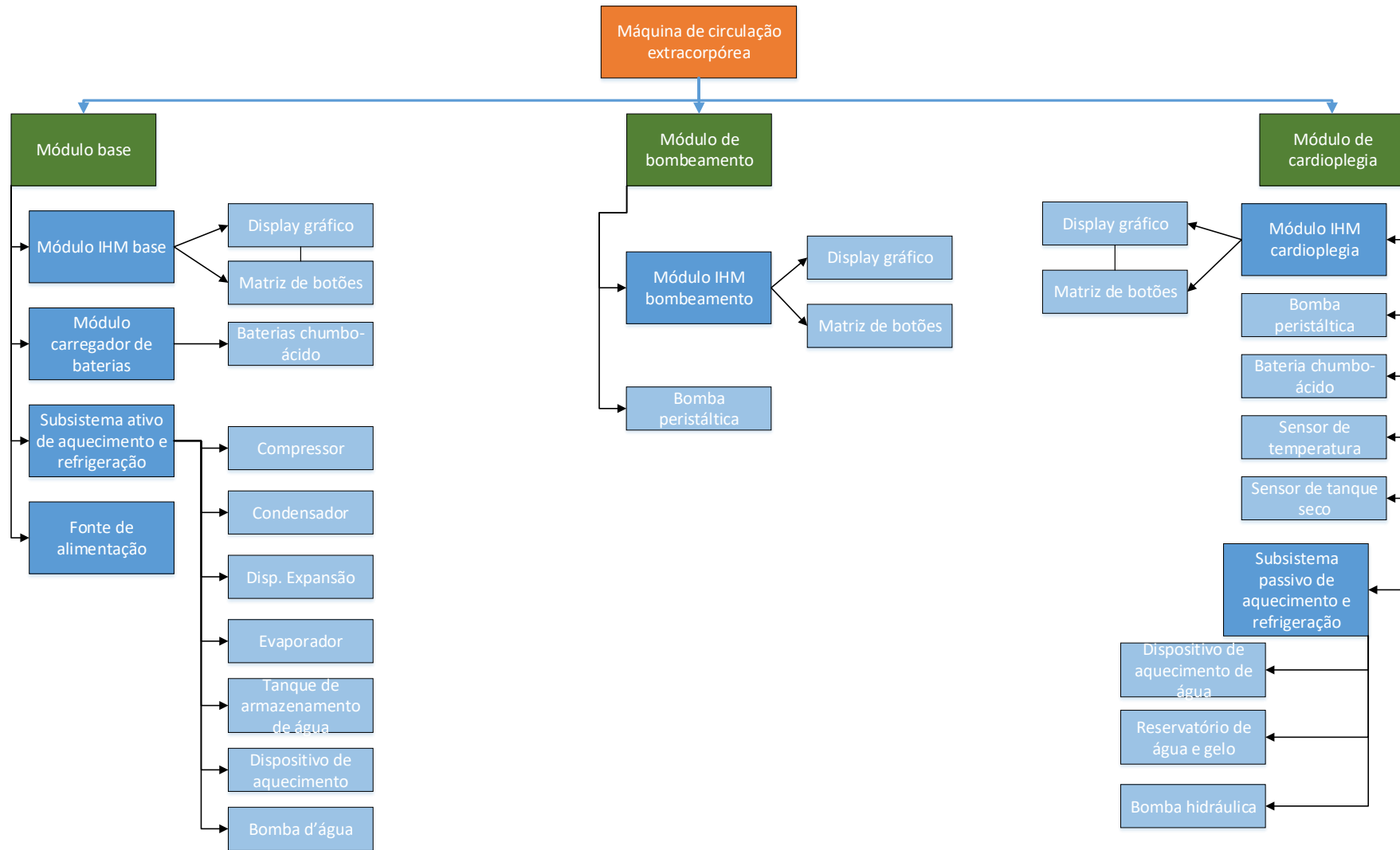
existirão mudanças a serem feitas, com base nos pontos fracos identificados no projeto anterior.

Figura 13: Teto da matriz QFD da máquina CEC, exibindo as inter-relações entre os requisitos.



Fonte: autoria própria

Figura 14: Identificação dos Sistemas, subsistemas e componentes da MCEC II.



Fonte: autoria própria

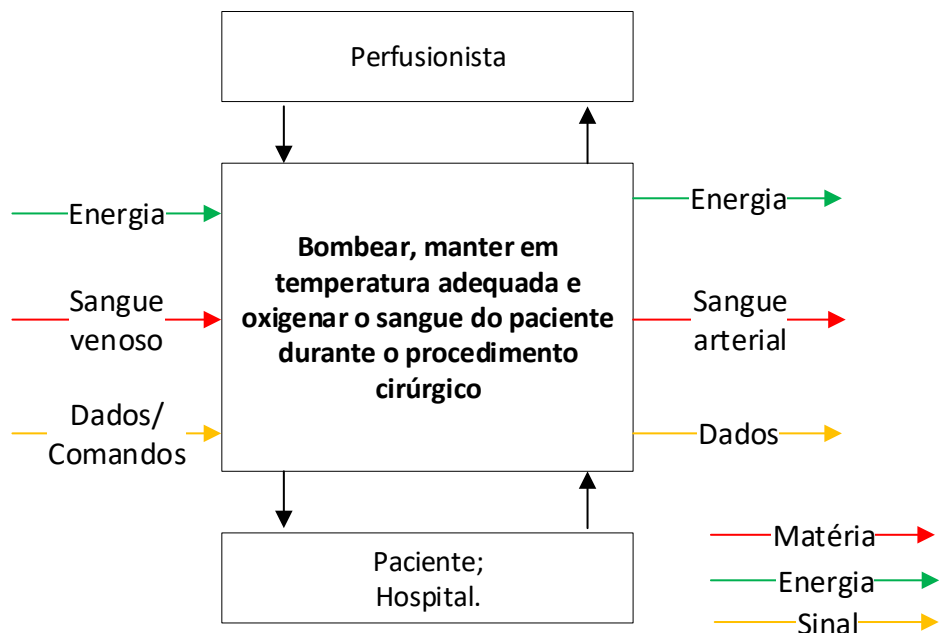
5.1.7. Modelagem funcional e função global

Após a determinação dos requisitos dos clientes e das especificações-meta, parte-se para a modelagem funcional do produto.

A modelagem funcional é uma ferramenta que permite uma melhor visualização do que o produto deverá ser capaz de fazer, com base nas entradas fornecidas pelo ambiente no qual está inserido. Então, “os modelos funcionais permitem que o produto possa ser representado por meio de suas funções – tanto aquelas realizadas externamente ao produto em sua interação com o ambiente quanto as funções internas ao produto, realizadas pelas suas partes” (Rozenfeld et.al, 2006, pág. 237).

Uma primeira modelagem funcional é exibida na Figura 15. Ao centro, mostram-se as funções que o equipamento terá que executar. Acima, mostra-se o seu operador, enquanto abaixo outros entes que terão relação com o equipamento. Segundo Pahl e Beitz, (2005), o fluxo principal deve ser estabelecido primeiro, de modo claro. Assim, os fluxos complementares poderão ser mais facilmente determinados em etapas posteriores.

Figura 15: Representação da função total da MCEC II.

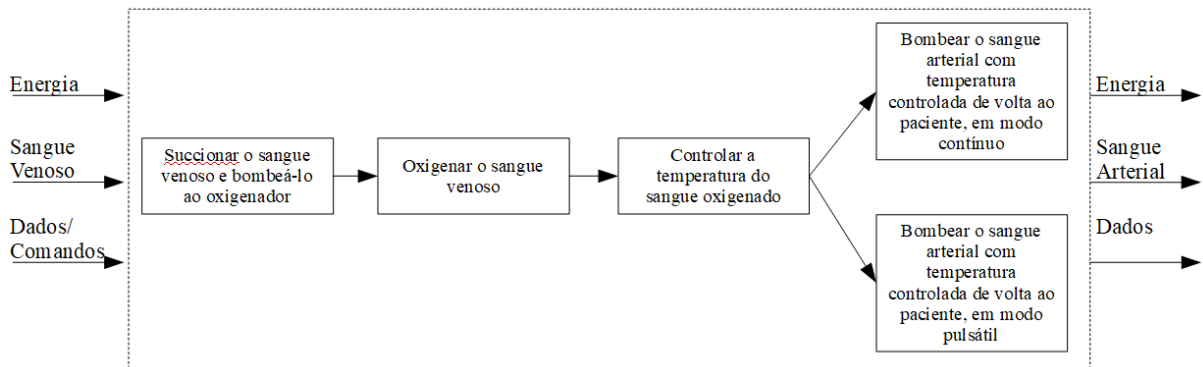


Fonte: autoria própria

Um desdobramento posterior da estrutura apresentada na Figura 15 é apresentada na Figura 16. Aqui, faz-se a identificação das subfunções principais

necessárias à realização da função global apresentada na figura 14. Aqui, destacam-se as funções de sucção, oxigenação, controle de temperatura e a reintrodução do sangue no corpo do paciente, nos modos contínuo e pulsátil. O retângulo tracejado indica a fronteira do sistema.

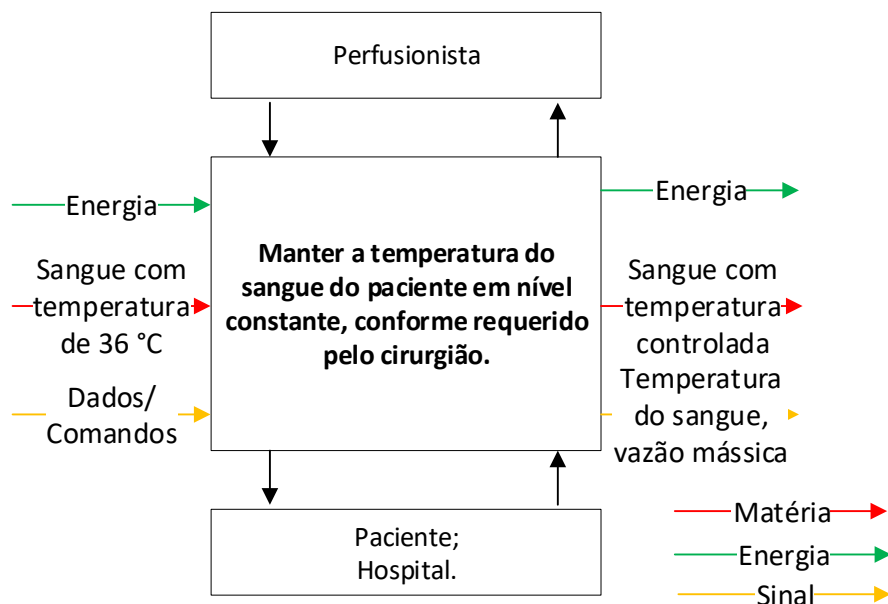
Figura 16: Desdobramento inicial da função global da MCEC II.



Fonte: autoria própria

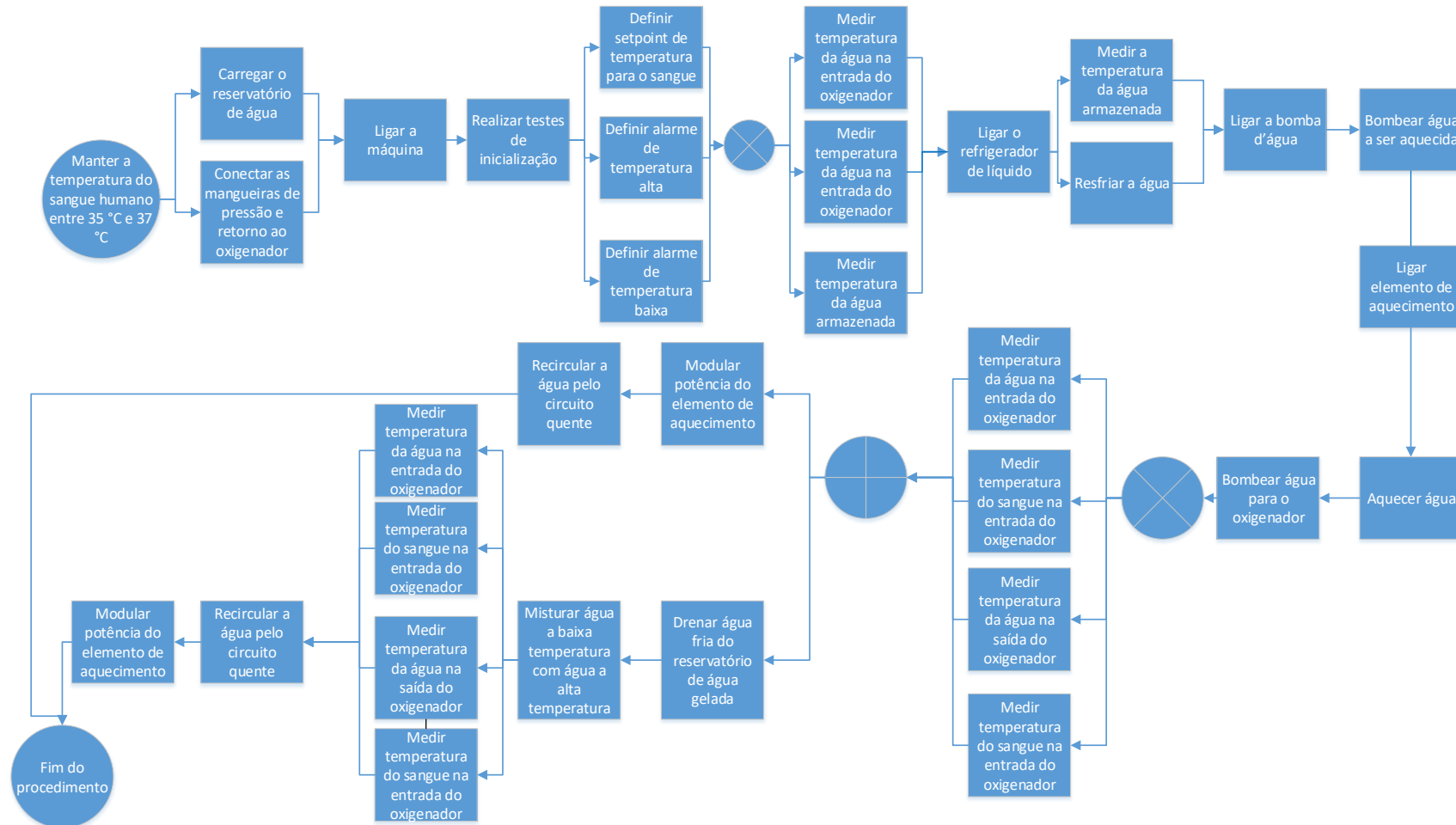
A função global do sistema de refrigeração é mostrada na Figura 17. . Ao centro, mostram-se as funções que o sistema terá que executar. Acima, mostra-se o seu operador, que é o mesmo do equipamento, enquanto abaixo outros entes que terão relação com o equipamento (paciente e hospital). Na lateral esquerda, têm-se as entradas e na esquerda o que o equipamento terá que entregar. Na Figura 18, é exibida a síntese funcional do sistema de refrigeração da MCEC.

Figura 17: Função global do sistema de refrigeração



Fonte: autoria própria

Figura 18: Síntese funcional do sistema de refrigeração.



Fonte: autoria própria

5.1.8. Aplicação da ferramenta

Para a aplicação do método, delimitou-se o estudo ao sistema de refrigeração e aquecimento de água da máquina de circulação extracorpórea (MCEC). As necessidades dos clientes relacionadas a esse subsistema, identificadas nas reuniões com os clientes do projeto são, de acordo com a Tabela 9:

Tabela 9: Necessidades dos clientes relacionadas ao subsistema de refrigeração e aquecimento

O resfriamento da água deve ser feito via subsistema de refrigeração embutido na máquina
O aquecimento da água deve ser feito via subsistema de aquecimento elétrico embutido na máquina;
Condensação de água deve ser evitada;
Taxa máxima de aquecimento e resfriamento do sangue, pela água: 1°C/min;
A temperatura da água deve variar entre 5°C e 42 °C.
O sistema deve ser hermético
Controle do sistema via botão giratório

Fonte: Autoria própria

Posteriormente, as necessidades foram desdobradas em requisitos e analisadas pelo método QFD, juntamente com os requisitos relacionados aos outros subsistemas da máquina. Eles também foram classificados, seguindo a seguinte sistemática (OLIVER; KELLIHER; KEEGAN, 1997):

- Pela origem: classifica o requisito pela sua origem. Se derivado diretamente de necessidades dos clientes são considerados como originais; caso derivado de normas, são considerados como de referência. Quaisquer outros requisitos que sejam desdobrados dos dois primeiros tipos, são requisitos derivados
- Pelo trabalho a ser feito: determina se um requisito é verificável ou não e, em caso positivo, o classifica pelo método de verificação. Além disso especifica se um requisito é ou está incompleto, redundante, escrito de modo inadequado ou se é inconsistente
- Pelo uso: são os requisitos que estão relacionados diretamente a funcionalidades ou componentes e que podem ser modelados. As subclassificações são: requisitos funcionais, requisitos de performance

temporais, requisitos de performance não relacionados a tempo, e requisitos de interface.

A escrita e organização dos requisitos foi feita com base nos princípios citados por Coombes et al apud Effendi et al, 2002, conforme descrito no capítulo 2.

Com base na análise funcional do equipamento e na análise dos requisitos, os requisitos derivados (ou desdobrados) juntamente aos seus valores-meta e suas respectivas identificações e classificações estão mostrados na Tabela 09

Cada um deles foi identificado seguindo a seguinte sistemática:

- Os requisitos originais (oriundos diretamente da matriz QFD) são identificados pelo prefixo “RS” (requisito de sistema);
- Identificador de subsistemas: SSXX, onde “XX” corresponde ao número do subsistema;
- SMXX, onde o prefixo “SM” corresponde ao termo “submódulo” e o termo “XX” corresponde ao número identificador do submódulo;
- N”X”: identifica o nível do requisito, sendo que o “nível 1” identifica os requisitos desdobrados diretamente do QFD ou requisitos mais elementares adicionados pós QFD e os níveis subsequentes são os requisitos desdobrados;
- R”XX”: identificador do requisito.

Tabela 10: Identificação e classificação dos requisitos

Requisitos do Subsistema					
Identificador	Descrição	Classificação	Valor meta	Método de verificação	Área
RS-011	Taxa de aquecimento/resfriamento do sangue	Original; funcional	≤ 1 °C/min	Teste	Mecânica/eletrônica
REQ-SS01-SM03-N1-R01	Volume útil do reservatório de água fria	Derivado; Performance não relacionada a função	25 litros	Teste	Mecânica
REQ-SS01-SM03-N1-R02	Tempo de resfriamento da água	Derivado; Temporal	30 minutos max.	Teste	Mecânica/eletrônica
REQ-SS01-SM03-N1-R03	Temperatura mínima do sangue	Derivado; Funcional	35 °C	Teste	Mecânica/Eletrônica
REQ-SS01-SM03-N1-R04	Temperatura máxima do sangue	Derivado; Funcional	37,5 °C	Teste	Mecânica/Eletrônica
REQ-SS01-SM03-N2-R01	Potência frigorífica requerida do sistema de refrigeração	Derivado; Performance	1400 watts	Inspeção	Mecânica
REQ-SS01-SM03-N2-R02	Potência elétrica do dispositivo de aquecimento	Derivado; Performance	2000 watts	Inspeção	Eletrônica
REQ-SS01-SM03-N2-R03	Vazão mássica de água quente	Derivado; Performance	40 l/s	Inspeção	Mecânica
REQ-SS01-SM03-N2-R04	Vazão mássica de água fria	Derivado; Performance	40 l/s	Inspeção	Mecânica
REQ-SS01-SM03-N2-R05	Temperatura máxima da água	Derivado; funcional	42 °C	Teste	Mecânica/Eletrônica
REQ-SS01-SM03-N2-R06	Temperatura mínima da água	Derivado; funcional	5 °C	Teste	Mecânica/Eletrônica
REQ-SS01-SM03-N3-R01	Potência elétrica do sistema de refrigeração	Derivado; performance	$900 \leq P_{elt} \leq 1000$ watts	Inspeção	Eletrônica

Fonte: Autoria própria

As restrições identificadas durante a etapa conceitual do projeto, relacionadas ao sistema são, de acordo com a Tabela 11.

Tabela 11: Restrições ao desenvolvimento do sistema de refrigeração

Restrição	Valor/atributo de referência
Dimensões Globais da máquina (LxAxP)	1036 x 600 x 1485 mm (670 x 236 x 342)
Temperatura ambiente média	30 °C
Temperatura ambiente máxima	40 °C
Temperatura ambiente mínima	10 °C
Custo máximo do sistema	R\$ 3000,00
Perda de carga máxima tolerada nas tubulações de refrigerante	1 kelvin
Desativação do subsistema de refrigeração e aquecimento na operação com baterias	-
Tamanho máximo do armazenamento de dados	2 GB

Fonte: Autoria própria

Para que as restrições pudessem ser identificadas, a principal fonte de informações foi o teto da matriz QFD, realizada na etapa informacional do projeto. Dele, foram tiradas as relações negativas que tivessem relação com o subsistema de refrigeração e aquecimento. Outras, foram obtidas com base na observação acerca do ambiente operacional do equipamento. Ou seja: tanto o telhado da matriz QFD quanto dados acerca do ambiente operacional do equipamento servem como fonte de informação de restrições.

Os resultados da análise QFD indicaram que o requisito de cliente “Taxa máxima de aquecimento e resfriamento do sangue, pela água” tem grande importância para o atendimento da função qualidade do produto e, portanto, deve ser priorizado. Deste modo, com base na arquitetura do sistema, os requisitos relacionados a esse requisito são, de acordo com a Tabela 12:

Tabela 12: Requisitos críticos relacionados ao requisito crítico "Taxa máxima de aquecimento/resfriamento do sangue"

Requisitos críticos identificados	Variável identificadora
Potência de aquecimento;	ρ_{aquec}
Potência de refrigeração;	ρ_{ref}
Vazão mássica de água da bomba de circulação;	\dot{m}_{bomba}
Eficiência do trocador de calor embutido no oxigenador de sangue;	ε
Área de troca térmica do trocador de calor	A

Fonte: Autoria própria

Para que os requisitos fossem identificados, seguiu-se o que foi proposto na fase 4 da metodologia.


A ferramenta foi exibido durante as reuniões de acompanhamento do projeto e a sua efetividade foi avaliada via questionário aplicado às pessoas envolvidas no desenvolvimento do produto. O seu layout geral está exibido na Figura 19. Após o desdobramento de requisitos e o mapeamento de especificações críticas, a ferramenta ficou como o mostrado na figura 17.

Em cada seção da ferramenta devem ser postas as seguintes informações:

- Na seção "requisitos do sistema/subsistema" devem ser postos os requisitos que foram identificados tanto na análise QFD quanto em análises posteriores e os requisitos desdobrados.
- Na seção "restrições", devem ser elencados quaisquer fatores que sejam limitantes ao desenvolvimento do sistema/subsistema;
- Na seção "Especificações críticas", os menores fatores de influência sobre o desempenho do sistema/subsistema devem ser identificados. Propõe-se registrar os valores que previstos em cálculos e/ou simulações do sistema e ao longo do projeto, registrar os valores que foram especificados, de modo que seja possível calcular o impacto do calculado versus especificado;
- Na segunda página da ferramenta, propõe-se a colocação de uma tabela onde cada requisito seja detalhado do seguinte modo: seja descrito, seja classificado, tenha um valor meta, e que a ele seja atribuído uma área do conhecimento. Propõe-se também que a síntese funcional seja posta

nessa mesma página, de modo que seja possível uma rápida associação entre requisitos e funções.

Figura 19: Layout do quadro de requisitos – 1º página

Quadro de requisitos e especificações críticas - Subsistema xxx		PROJETO XXX	REV. 00 Elaborado por: xxxxxx Data:
Componentes do subsistema	Requisitos do subsistema	1/2	
<p>Nesse campo, os componentes do sistema/subsistema devem ser representados com suas respectivas codificações</p> <div style="text-align: center; margin: 20px 0;">  <p>Restrições</p> </div> <p>As restrições às quais o sistema/subsistema estejam submetidas devem ser representadas nesse campo</p>	<p>Nesse campo, os requisitos do sistema/subsistema devem ser representados, identificados, e desdobrados. Além disso, aqui devem ser evidenciadas as relações entre eles, as funções e a sua relação com componentes do sistema/subsistema.</p>	<p>Aqui as especificações críticas devem ser destacadas, de modo que se torne claro sobre quais variáveis os projetistas podem atuar de modo a que os requisitos sejam atendidos.</p>	

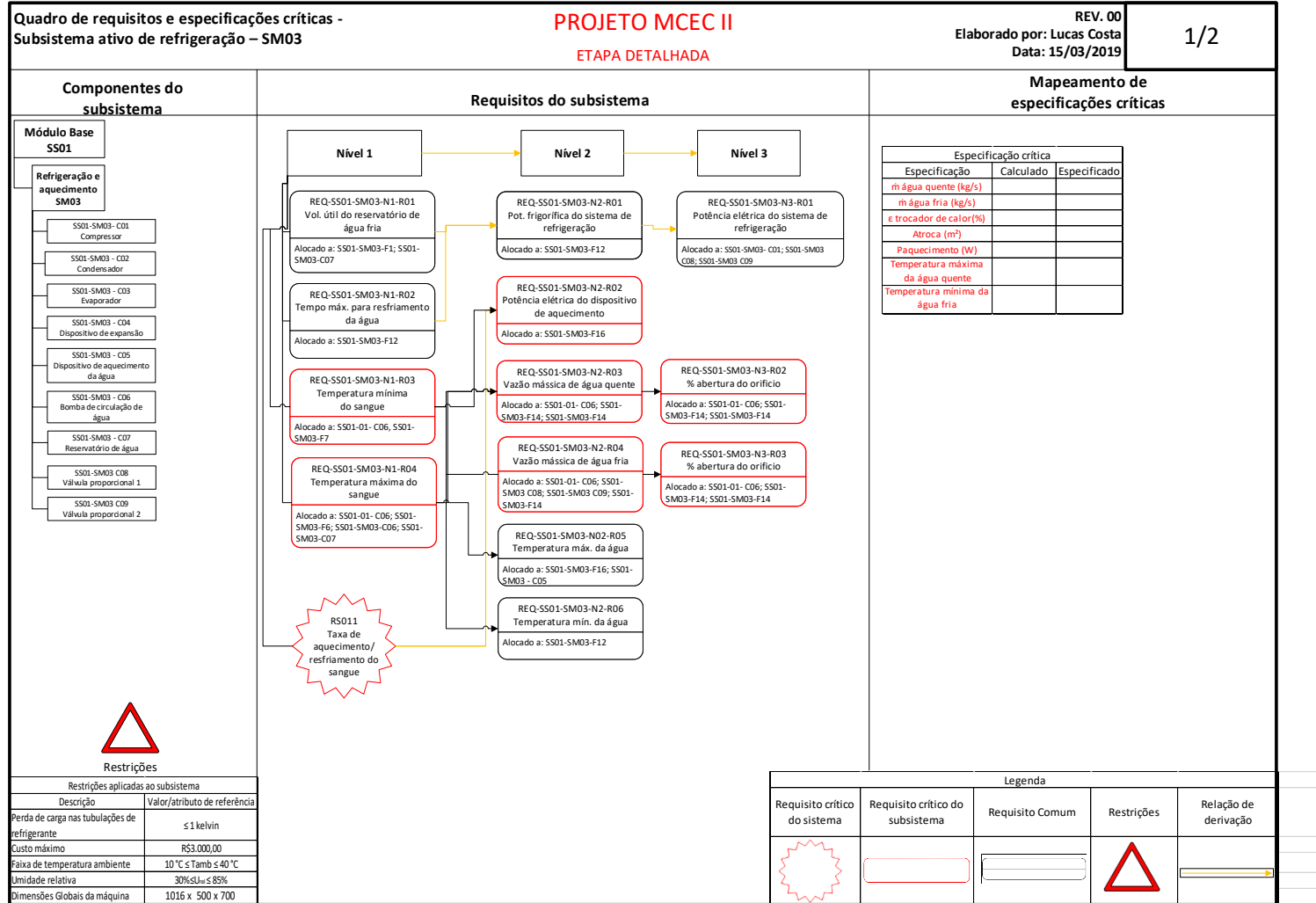
Fonte: autoria própria

Figura 20: Layout do quadro de requisitos - 2º página

Quadro de descrição e classificação dos requisitos/ Quadro de mapeamento de funções	PROJETO XXX	REV. 00 Elaborado por: xxxxxx Data:	2/2
<p>Nesta segunda página deve-se representar os requisitos de modo detalhado e inserir a síntese funcional do sistema/subsistema, codificada.</p>			

Fonte: autoria própria

Figura 21: quadro de requisitos preenchido – 1º página



Fonte: autoria própria

Figura 22: Quadro de requisitos preenchido – 2º página

Descrição e classificação dos requisitos/Identificação das funções		PROJETO MCEC II		REV. 00	
Subsistema ativo de refrigeração – SM03		ETAPA DETALHADA		Elaborado por: xxxxxx	
				Data:	
2/2					
Requisitos do subsistema					
Identificador	Descrição	Classificação	Valor meta	Método de verificação	Área
RS-011	Taxa de aquecimento/resfriamento do sangue	Original; funcional	≤ 1 °C/min	Teste	Mecânica/eletrônica
REQ-SS01-SM03-N1-R01	Volume útil do reservatório de água fria	Derivado; Performance não relacionada a função	25 litros	Teste	Mecânica
REQ-SS01-SM03-N1-R02	Tempo de resfriamento da água	Derivado; Temporal	30 minutos max.	Teste	Mecânica/eletrônica
REQ-SS01-SM03-N1-R03	Temperatura mínima do sangue	Derivado; Funcional	15 °C	Teste	Mecânica/eletrônica
REQ-SS01-SM03-N1-R04	Temperatura máxima do sangue	Derivado; Funcional	36 °C	Teste	Mecânica/eletrônica
REQ-SS01-SM03-N2-R01	Potência frigorífica requerida do sistema de refrigeração	Derivado; Performance	1400 watts	Inspeção	Mecânica
REQ-SS01-SM03-N2-R02	Potência elétrica requerida do dispositivo de aquecimento	Derivado; Performance	2000 watts	Inspeção	Eletrônica
REQ-SS01-SM03-N2-R03	Vazão mássica de água quente	Derivado; Performance	40 l/s	Inspeção	Mecânica
REQ-SS01-SM03-N2-R04	Vazão mássica de água fria	Derivado; Performance	40 l/s	Inspeção	Mecânica
REQ-SS01-SM03-N02-R05	Temperatura máxima da água	Derivado; Funcional	42 °C	Teste	Mecânica/eletrônica
REQ-SS01-SM03-N02-R06	Temperatura mínima da água	Derivado; Funcional	5 °C	Teste	Mecânica/eletrônica
REQ-SS01-SM03-N3-R01	Potência elétrica requerida do sistema de refrigeração	Derivado; Performance	900 ≤ P _{elt} ≤ 1000 watts	Inspeção	Eletrônica
Subsistema SS01-SM03 - Identificação de funções					
Identificação	Função				
SS01-SM03-F1	Carregar o reservatório de água				
SS01-SM03-F2	Conectar as mangueiras de pressão e retorno ao oxigenador				
SS01-SM03-F3	Ligar a máquina				
SS01-SM03-F4	Realizar testes de inicialização				
SS01-SM03-F5	Definir setpoint de temperatura do sangue				
SS01-SM03-F6	Definir alarme de temperatura alta				
SS01-SM03-F7	Definir alarme de temperatura baixa				
SS01-SM03-F8	Medir temperatura da água na entrada do oxigenador				
SS01-SM03-F9	Medir temperatura da água na saída do oxigenador				
SS01-SM03-F10	Medir temperatura da água armazenada				
SS01-SM03-F11	Ligar o refrigerador de líquido				
SS01-SM03-F12	Resfriar a água				
SS01-SM03-F13	Ligar a bomba d'água				
SS01-SM03-F14	Bombear água a ser aquecida				
SS01-SM03-F15	Ligar elemento de aquecimento				
SS01-SM03-F16	Aquecer a água				
SS01-SM03-F17	Bombear água para o oxigenador				
SS01-SM03-F18	Oxigenar o sangue				
SS01-SM03-F19	Medir temperatura do sangue na entrada do oxigenador				
SS01-SM03-F20	Medir temperatura do sangue na saída do oxigenador				
SS01-SM03-F21	Modular potência do elemento de aquecimento				
SS01-SM03-F22	Recircular a água pelo circuito quente				
SS01-SM03-F23	Drenar água fria do reservatório de água gelada				
SS01-SM03-F24	Misturar água a baixa temperatura com água a alta temperatura				

Fonte: autoria própria

5.2. Segunda aplicação da ferramenta

A segunda aplicação da ferramenta se deu em um projeto de um robô que tem como finalidade a realização de limpeza e substituição de componentes em tubos produtores de petróleo. O objetivo do projeto é automatizar o processo de limpeza, obtendo maior produtividade e eficiência.

5.2.1. Levantamento das necessidades dos clientes

As necessidades dos clientes são descritas a seguir e foram levantadas seguindo a mesma metodologia usada no projeto anterior.

Tabela 13: Necessidades dos clientes do projeto do robô de intervenção

Cliente	Necessidades
Cliente 1	Redução no custo de intervenção
	Redução de mobilização de pessoas e equipamentos durante a intervenção
	Aumento de produtividade dos poços de petróleo
	O sistema deve ser autônomo e armazenar os dados da operação
	Operação em ambiente hostil, sob altas pressões e temperaturas, na presença de material abrasivo e substâncias corrosivas
	Longa vida em serviço
	Uso de componentes de mercado
	Sistema de uso simples
	O sistema deve garantir a sua segurança e não prejudicar a segurança do ambiente
	Se acoplar com equipamentos padrão
	O sistema deve ser capaz de transmitir informações
	O sistema deve ser capaz de passar por obstáculos e equipamentos internos do poço
Cliente 2	Fácil montagem e manutenção
	Fácil manuseio e transporte
	Possibilidade de ser armazenado em ambiente externo
	Fácil instalação no poço
	Possibilidade de ser recuperado por pescaria
	Possibilidade de ser atualizado
Cliente 3	Uso de materiais recicláveis
	Projeto pensado para fácil desmontagem

Fonte: autoria própria

5.2.2. Requisitos iniciais priorizados e valores meta preliminares

Os requisitos iniciais do produto, por ordem de priorização, são mostrados a seguir; além disso, os valores meta preliminares e a tendência dos requisitos também são mostrados. A obtenção deles se deu pelo método QFD.

Tabela 14: Requisitos do produto ordenados

Nº	Requisito	Tendência	Valor de referência	Pontuação
1	Custo de intervenção (incluindo custo do produto)	Menor	** Reais	460
2	Número de pessoas mobilizadas na operação e montagem	Menor	# Pessoas	351
3	Número de equipamentos mobilizados na intervenção	Menor	# Equipamentos	336
4	Dimensões do sistema (x y z, Volume)	Menor	** m	296
5	Número de procedimentos pré-programados	Maior	# de Procedimentos	288
6	Massa do sistema	Menor	** Kg	263
7	Quantidade de operações de verificação de segurança (antes, durante e após a cada operação - software e procedimentos do operador)	Menor	# de Operações	253
8	Número de operações assistidas pelo operador (software)	Menor	# de Operações	234
9	Nº de Transportes mobilizados na intervenção	Menor	# Transportes	231
10	Precisão na medição de posição	Menor	** % do erro	231
11	Capacidade de processamento	Maior	** Instruções por segundo	228
12	Número de acoplamento padrão para outros equipamentos	Maior	** % de acoplamentos padrão em relação ao total	225
13	Capacidade de armazenamento de energia	Maior	** J	216
14	Precisão na medição do Ø	Menor	Classe 0	213
15	Certificação para ambiente explosivo	Maior	** % do erro	213
16	Suportar impacto acidental	Maior	** J	202
17	Precisão da medição de pressão (Int e ext.)	Menor	** % do erro	198
18	Memória de armazenamento	Maior	2" à 7 "	192
19	Operar em faixa de diâmetro de tubulação	Maior	** Gb	192
20	Precisão da previsão de consumo de energia	Maior	** % do erro	189
21	Precisão de medição da temperatura	Menor	** % do erro	186
22	Dimensões de subconjunto (x y z, Volume)	Menor	** m	185
23	Capacidade de deslocamento do interventor	Maior	8 km (ida e volta)	183
24	Precisão medição da quantidade da energia	Maior	** % do erro	162
25	Massa de subconjuntos	Menor	** Kg	161
26	Memória volátil	Maior	** Gb	159
27	Número de ferramenta para instalação	Menor	# Númro de Ferramenta	156
28	Resistir ao pH ácido	Menor	** PH	151
29	Número de operações para instalação do produto	Menor	# Número de operações	150
30	Comunicação a distância pela água	Maior	3 km	138
31	Temperatura externa a unidade de intervenção Onshore	Maior	15 à 125°C	135
32	Temperatura externa a unidade de intervenção Offshore	Maior	5 à 125°C	135
33	Resistir ao H2S	Menor	** PH	133
34	Compatibilidade química (água de formação e fluidos produzidos)	Menor		133
35	Pressão externa para unidade de intervenção	Maior	16000 PSI	130
36	Comunicação a distância pelo ar	Maior	100 m	123
37	Percentual de ganho de produção do poço antes x depois da intervenção	Maior	** % Barris produzido	108
38	Raio de curvatura de passagem da unidade de intervenção para 2"	Menor	120 m de raio	108
39	Intervalo entre manutenções do sistema ROBIN	Maior	** Manutenções/mês	108
40	Resistir a água do mar (salinidade)	Maior	** o/oo	103
41	Taxa de transferência de dados	Maior	** Mb/s	102

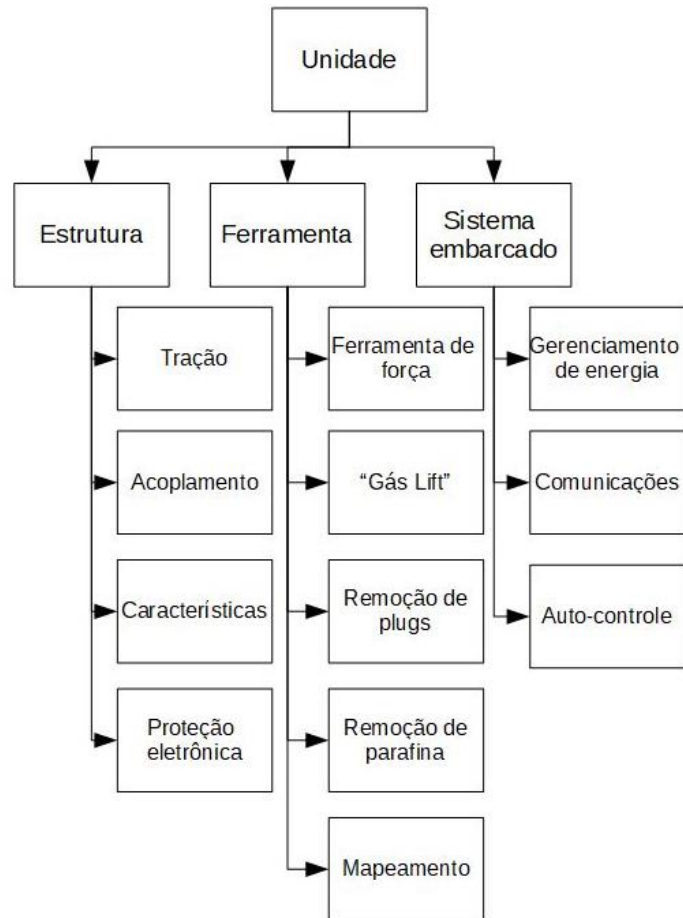
42	Pressão externa para unidade casulo Offshore	Maior	Coluna d'água de 3km	100
43	Precisão da medição da força carga axial	Menor	** % do erro	99
44	Flutuabilidade (Buoyancy) Levemente negativo (deixar descer)	Menor	Neutra	93
45	Tempo de troca/recarga da bateria	Maior	** s	87
46	Componentes de mercado	Maior	***% em relação ao total de componentes.	86
47	Temperatura externa ao casulo Onshore	Menor	0 à 50 °C	84
48	Máxima pressão que o sistema motriz pode fazer sobre a tubulação	Menor	** PSI	84
49	Vida útil (horas de operação)	Maior	** horas	81
50	Resistir à raios solares (UV)	Maior	** J/m 2	79
51	Nº de diferentes materiais (aço, plástico, cerâmico)	Menor	# Materiais	79
52	Temperatura externa ao casulo Offshore	Menor	4 à 30 °C	75
53	Resistir a radiação do poço	Menor	** Gy	73
54	Abrasão	Maior	** mm3 de material perdido	70
55	Resistir a chuva (ambiente externo ao casulo)	Maior	** mm de água	61
56	Número de componentes modulares (condensar funções - Não segmentação do sistema)	Maior	# Componentes modulares	54
57	Número de peças do produto	Menor	# Peças	52
58	Nº de ferramentas para montagem (fabricação)	Menor	# Ferramenta	51
59	Número de operações para montagem produto (fabricação)	Menor	# Operações	45
60	Pressão externa para unidade casulo Onshore	Maior	1 Atm	12

Fonte: autoria própria

5.2.3. Desdobramento do equipamento em sistemas, subsistemas e componentes

O desdobramento de sistemas, subsistemas e componentes é conforme mostrado a seguir, na Figura 31.

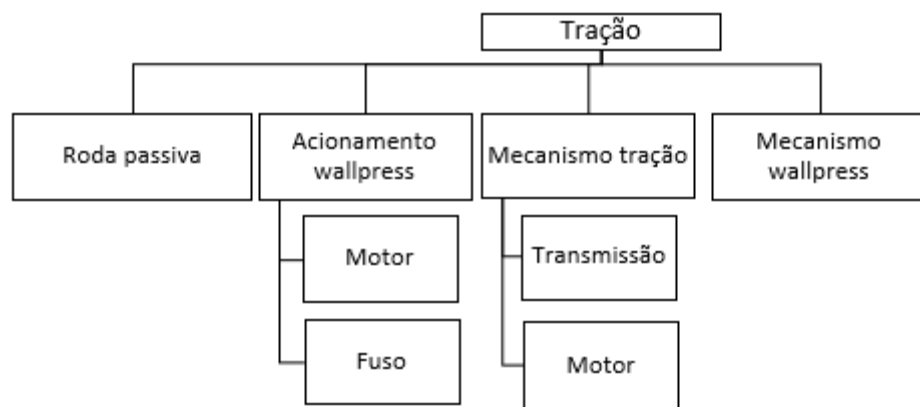
Figura 23: Estrutura de sistemas, subsistemas e componentes do robô de intervenção



Fonte: próprio autor

Para o subsistema de tração, uma identificação inicial dos componentes é mostrada a seguir:

Figura 24: Identificação dos componentes do subsistema de tração

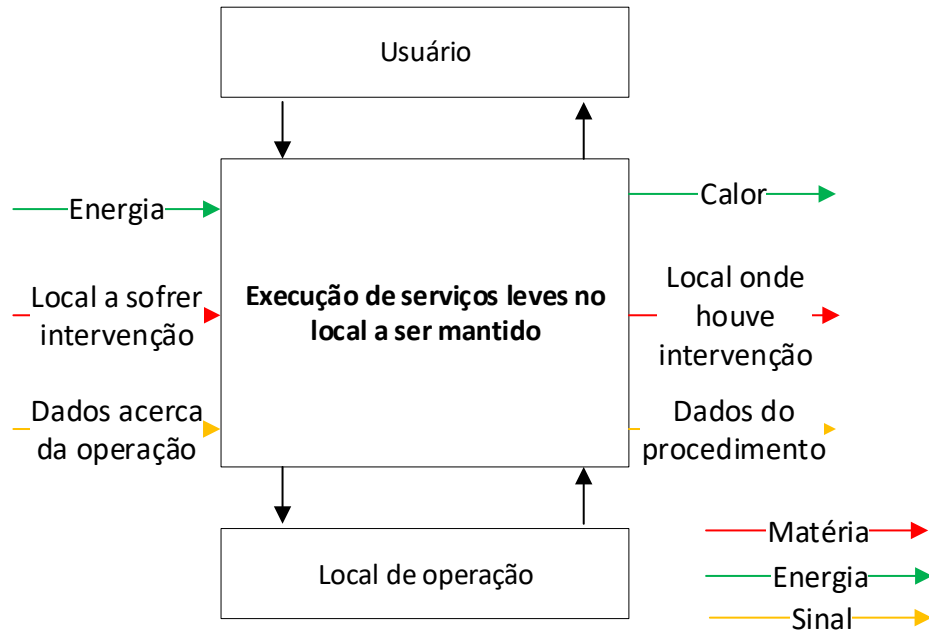


Fonte: autoria própria

5.2.4. Modelagem funcional e função global

A função global do sistema e a específica do subsistema são mostrados a seguir

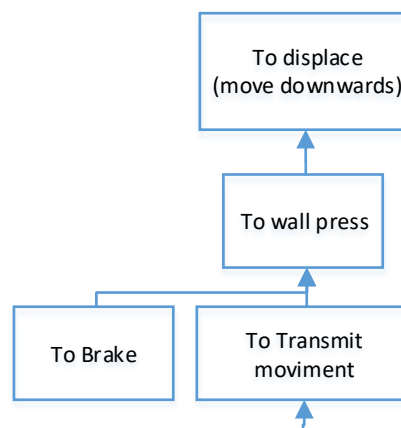
Figura 25: Função global do robô de intervenção



Fonte: autoria própria

A função do subsistema em análise está evidenciada abaixo:

Figura 26: Síntese funcional do subsistema de tração



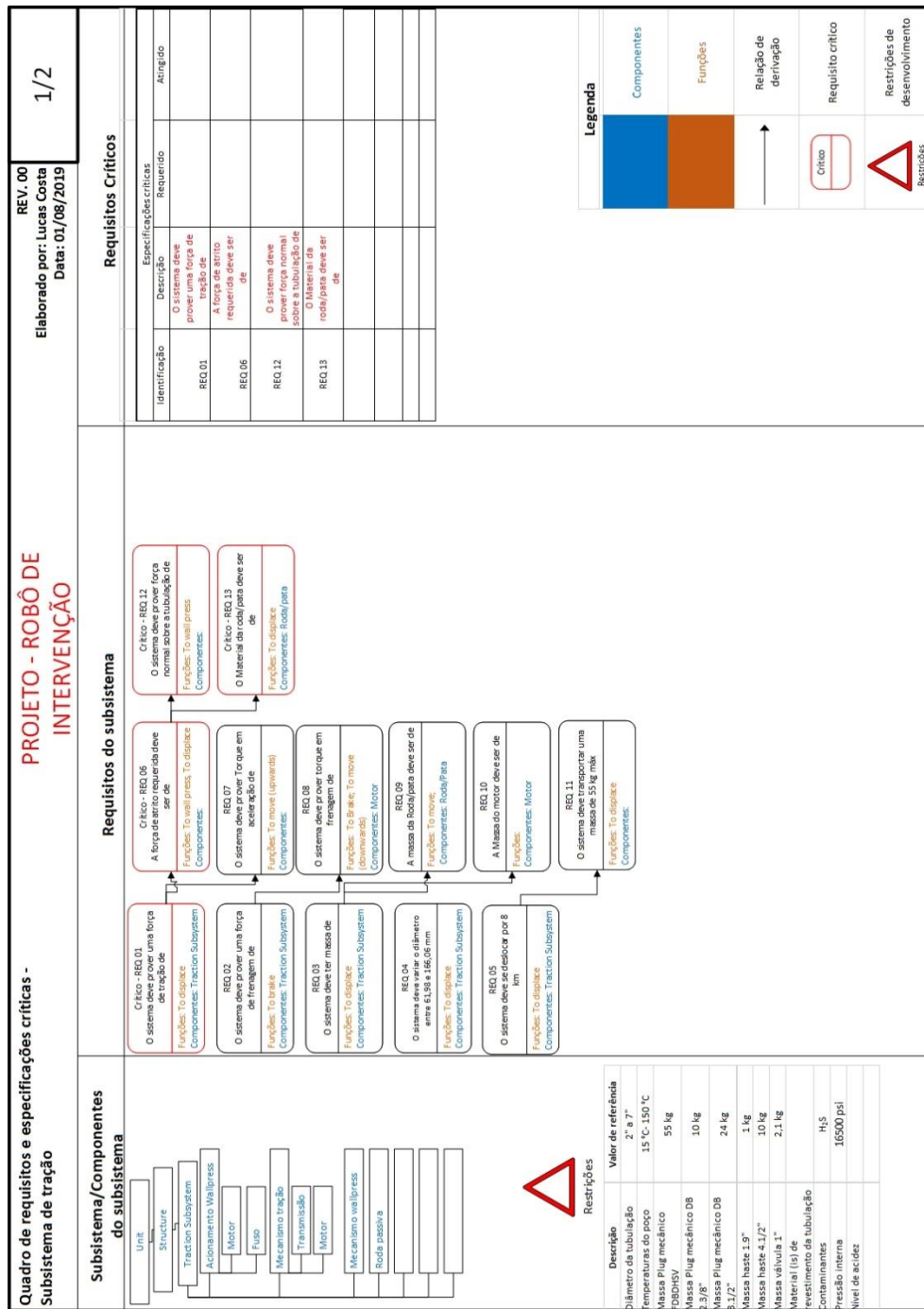
Fonte: autoria própria

5.2.5. Aplicação da ferramenta

A ferramenta foi construída com base nas informações apresentadas anteriormente e seguindo o passo a passo de preenchimento apresentado. Ela está sendo utilizada durante o desenvolvimento do sistema em questão, do mesmo modo como no projeto anterior. Também, da mesma forma como no projeto anterior, as percepções dos usuários serão colhidas via questionário.

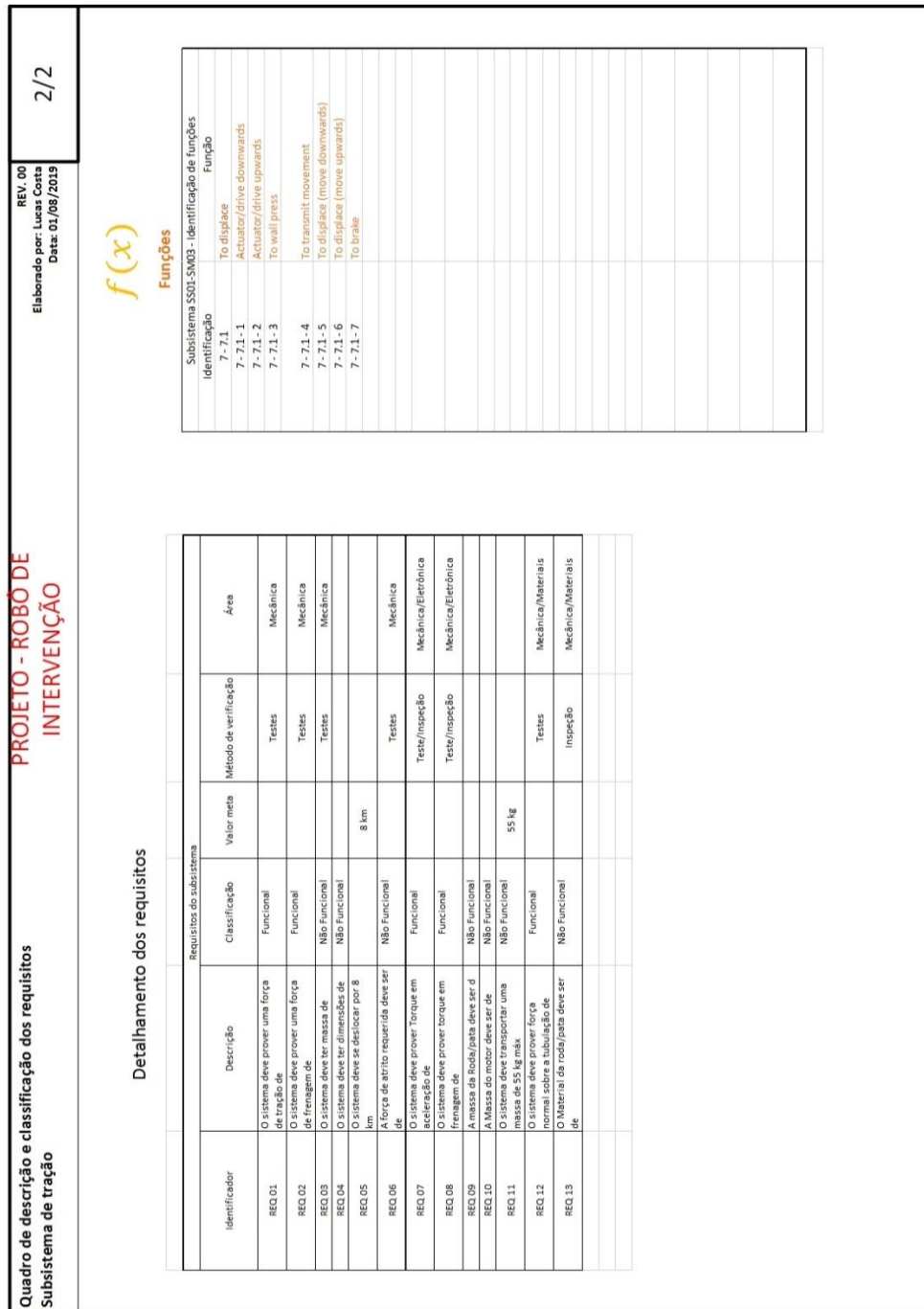
A sistemática adotada foi a mesma que a usada na aplicação do projeto da máquina de circulação extracorpórea.

Figura 27: A ferramenta aplicado ao projeto de um robô de intervenção – 1º página



Fonte: autoria própria

Figura 28: a ferramenta aplicada ao projeto de um robô de intervenção – 1º página



Fonte: autoria própria

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

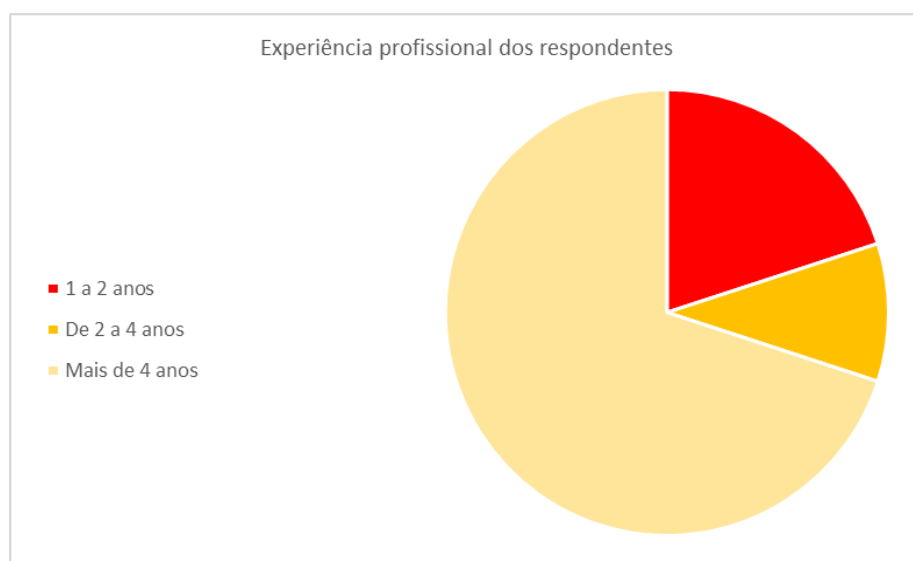
A utilidade da ferramenta foi verificada via aplicação de um questionário, que está na sessão “Apêndice” deste trabalho. O questionário foi respondido pelos integrantes que participaram do projeto descrito na seção “Estudo de caso”. Os objetivos do questionário foram:

- Verificar a percepção dos respondentes acerca da importância que os requisitos possuem no sucesso de um projeto
- Verificar se houve entendimento acerca das informações que devem ser priorizadas no desenvolvimento
- Verificar a efetividade da ferramenta e descobrir possíveis pontos a serem melhorados.

Houve um total de 10 respondentes. O perfil dos respondentes é indicado nos gráficos abaixo.

- 70% possui mais que 4 anos de experiência, 20% têm de 1 a 2 anos enquanto 10% têm de 2 a 4 anos.

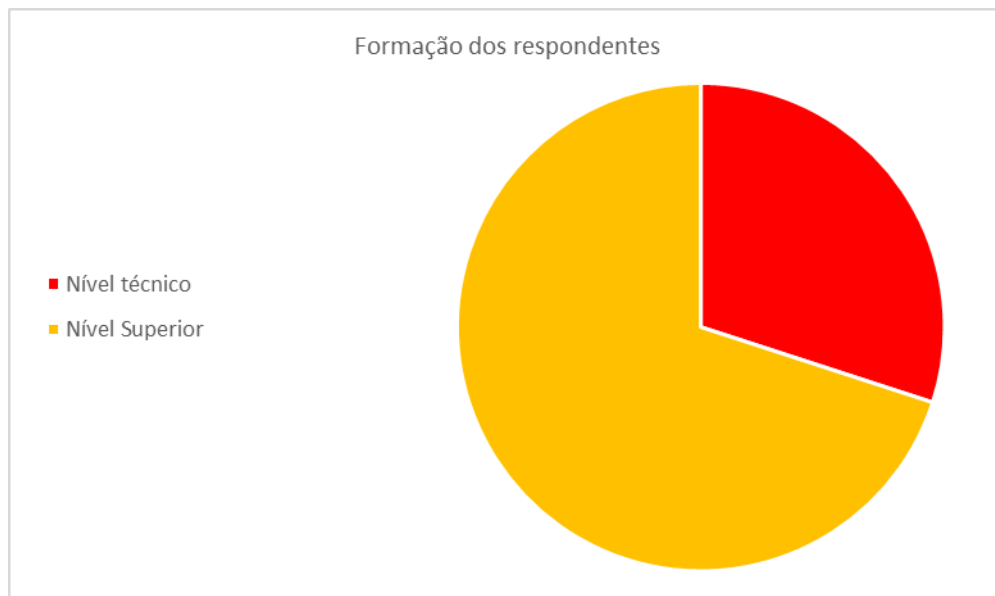
Figura 29: Experiência profissional dos respondentes



Fonte: autoria própria

- 70% dos respondentes possui nível superior enquanto 30% deles possui nível técnico.

Figura 30: Formação dos respondentes



Fonte: autoria própria

As respostas obtidas no questionário estão sintetizadas nas tabelas.

Tabela 15: Respostas obtidas pelo questionário - questões 01 a 05

	Q1: Qual a avaliação da ferramenta proposta no que se refere à disseminação de informações?	Q2: Quais os pontos fortes identificados na ferramenta?	Q3: Quais os pontos fracos identificados na ferramenta?	Q4: Entre a visualização diagramática e a visualização em uma planilha, qual oferece maior praticidade na visualização das informações?	Q5: Entre a visualização diagramática e a visualização em uma planilha, qual oferece maior praticidade na visualização das informações?
Respondente 1	A ferramenta facilita a leitura de grande quantidade de informações	Informações apresentadas de modo objetivo, com textos curtos	Necessidade de melhor padronização de formatação de textos	Depende da informação que está sendo representada e do público alvo	Concorda
Respondente 2	A ferramenta facilita a disseminação de informações, porém é mais adequado ao uso em projetos de mais baixa complexidade ou em subsistemas de projetos mais complexos	A estrutura contribui para fortalecer o raciocínio, o que contribui para a busca pelas soluções	Dificuldade de relacionar os requisitos às funções e aos subsistemas, devido à dificuldade de interpretar o sistema de codificação proposto	A visualização diagramática é mais prática	Concorda
Respondente 3	A ferramenta proposto permite aos membros da equipe associar a sua atividade com uma visão global do projeto. Permite, também, rever decisões e escolhas com base nos requisitos que se pretendem atingir, funcionando como uma memória de acesso rápido	A relação entre requisitos e funções/subsistemas permite verificar se e como os requisitos estão sendo atendidos. Permite também verificar os sistemas que necessitam ser alterados no caso de não atendimento a algum requisito ou caso ele tenha se degradado por algum motivo	O documento pode se tornar extenso e exigir mais tempo dedicado à sua construção para projetos grandes, enquanto para projetos menores e mais simples, ele pode vir a ser negligenciado	A visualização diagramática deixa mais evidente as divisões em subsistemas e as relações hierárquicas	Concorda

Fonte: autoria própria

Tabela 16: Respostas obtidas pelo questionário - questões 01 a 05 (continuação)

	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5
Respondente 4	Avaliação satisfatória. Única ressalva é que, se a ferramenta for muito grande, a visualização pode ser dificultada	Visualização das interconexões entre os requisitos	A identificação está muito longa, dificultando a memorização para consultas na ferramenta	A ferramenta oferece maior praticidade, porém não tem recursos de filtro caso o projeto/requisitos tenham grandes proporções	Concorda
Respondente 5	A ferramenta transmite informações claras acerca do sistema de refrigeração da máquina	A ferramenta é autoexplicativa	Para facilitar a percepção de interação, sugiro alterar as cores das caixas de requisitos. As caixas que representam as mesmas informações devem estar padronizadas. As cores das setas devem ser diferentes, de modo a evitar erro de interpretação	A ferramenta oferece uma visualização mais dinâmica das informações	Concorda

Fonte: autoria própria

Tabela 17: Respostas obtidas pelo questionário - questões 01 a 05 (continuação)

	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5
Respondente 6	Aparentemente é uma ferramenta útil para facilitar a visualização dos requisitos e suas relações. Quanto à disseminação das informações, pode ser útil para checagem de requisitos por colaboradores de diferentes especialidades. Entretanto, a ferramenta, por si só, não é suficiente para detalhar o requisito, já que as informações são apresentadas de forma sintética. Por isso, acredito que funcione melhor como ferramenta de consulta.	Informações apresentadas de forma sintética; fácil entendimento; Destaque para os requisitos críticos; Inclusão das condições de projeto (Restrições); Apresentação das relações entre requisitos	A simplificação não permite a inclusão de muitas informações; não há nenhuma relação entre os requisitos e as condições que os geraram; Se houver um grande número de relacionamentos entre os requisitos A ferramenta poderá ficar muito confuso	A visualização diagramática é melhor para um entendimento inicial. Entretanto, a forma de planilha simplifica a organização e é mais adequada para a inserção de grande número de informações.	Concorda fortemente
Respondente 7	A ferramenta é clara, o que que facilita a comunicação dos requisitos alocando-os as funções do produto	Simples de usar e de visualizar. Aparentemente fica bom impresso e exposto em um painel para equipe trabalhando no subsistema.	Em um subsistema muito grande pode ficar difícil a interpretação e disseminação das informações	O digrama, apesar que com grandes informações talvez aliado a uma planilha ajude na praticidade em gerenciar grandes volumes de informação.	Concorda fortemente
Respondente 8	É uma boa ferramenta para disseminação de informações dentro do grupo de trabalho pois além de garantir que todos tenham em mente os requisitos básicos do processo, garante a disseminação das restrições ambientais para o desenvolvimento.	Facilidade de entendimento; Possibilita ao grupo planejar de forma mais assertiva uma linha de desenvolvimento do projeto	Falta a descrição da legenda das siglas utilizadas na ferramenta; Não existe uma interação componentexrequisitos	Diagramática, pois traz um melhor entendimento sobre a árvore de requisitos criada a partir de uma função básica de um subsistema	Nem concorda nem discorda

Fonte: autoria própria

Tabela 18: Respostas obtidas pelo questionário - questões 01 a 05 (continuação)

	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5
Respondente 9	De uma forma geral, boa! Consegue-se localizar as informações de forma direta, o que facilita o manuseio.	A possibilidade de se identificar itens críticos ao projeto, gerenciando-os melhor.	Na minha opinião, o conceito se faz mais eficaz em projetos que se encontram em fases avançadas!	Na minha concepção, a representação gráfica em diagramas facilita o entendimento de forma esquematizada.	Concorda
Respondente 10	O documento destaca-se positivamente por apresentar um layout fácil de interpretar as informações.	No meu ponto de vista, a ferramenta está muito bem estruturada, de forma simples e organizada apresenta toda a árvore de requisitos do subsistema, assim como seus componentes e funções. A parte de requisitos críticos ajuda na identificação e priorização destes, além de comparar o projetado com o realizado.	Acredito que se o projeto possuir muitos requisitos pode tornar o documento confuso, principalmente os requisitos que possuem referências.	Na minha opinião, a visualização diagramática fica mais simples e fácil de interpretar o documento.	Concorda fortemente

Fonte: autoria própria

Tabela 19: Respostas obtidas pelo questionário - questões 06 a 10

	Q6: A criação de novas revisões da ferramenta é um meio prático para a rastreabilidade dos requisitos	Q7: A classificação dos requisitos, conforme apresentada, é clara	Q8: O mapeamento dos subsistemas e componentes e sua exibição juntamente aos requisitos facilita a percepção da inter-relação entre eles	Q9: O mapeamento das funções e a alocação dos requisitos à elas contribui facilita a percepção da inter-relação entre eles	Q10: Deve existir uma única pessoa para o gerenciamento da documentação de requisitos
Respondente 1	Concorda	Discorda	Concorda fortemente	Concorda	Nem concorda nem discorda
Respondente 2	Concorda	Nem concorda nem discorda	Concorda	Concorda	Concorda fortemente
Respondente 3	Concorda	Concorda fortemente	Concorda	Concorda fortemente	Discorda
Respondente 4	Concorda	Concorda	Concorda	Concorda	Discorda
Respondente 5	Concorda fortemente	Concorda	Concorda	Concorda	Concorda fortemente
Respondente 6	Discorda	Discorda	Concorda	Concorda	Discorda
Respondente 7	Concorda fortemente	Concorda	Concorda	Concorda fortemente	Discorda fortemente
Respondente 8	Concorda fortemente	Concorda fortemente	Concorda	Concorda	Concorda
Respondente 9	Concorda	Concorda	Concorda fortemente	Concorda fortemente	Discorda fortemente
Respondente 10	Concorda fortemente	Concorda fortemente	Concorda fortemente	Concorda fortemente	Concorda fortemente

Fonte: autoria própria

Tabela 20: Respostas obtidas pelo questionário - questões 11 a 15

	Q11: Quando a ferramenta devem ser apresentados? (PDR, CDR, PDR+CDR, reuniões diversas)	Q12: Propõe-se a construção de um diagrama por subsistema do projeto. Há concordância com essa proposição?	Q13: Sugere-se que, antes de representar o diagrama em ferramenta informatizada, ele deva ser elaborado pela equipe em um meio mais informal? Qual a percepção acerca dessa proposta?	Q14: O destaque dado aos requisitos críticos é claro	Q15: A percepção entre a hierarquia de requisitos é clara
Respondente 1	Revisões preliminares de design	Discorda fortemente	A construção inicialmente feita de modo informal, contribui para que o foco da discussão esteja somente nos requisitos.	Concorda fortemente	Concorda
Respondente 2	Após a conclusão da matriz QFD	Concorda	Concorda com a assertiva	Concorda	Concorda
Respondente 3	Reuniões críticas de design e reuniões preliminares de design	Concorda	Concorda em parte com a afirmação. Acredita que a participação da equipe na elaboração da ferramenta seja importante mas crê que as ferramentas informatizadas possam ser utilizadas mesmo em situações mais informais, desde que seja viabilizada por um mediador.	Concorda	Concorda
Respondente 4	Reuniões preliminares de design e reuniões críticas de design	Concorda	A discussão por diferentes pontos de vista irá trazer boas contribuições para a proposta da ferramenta além de promover a integração da equipe no início do projeto.	Concorda	Não concorda nem discorda
Respondente 5	Reuniões preliminares de design e reuniões críticas de design	Concorda	A ferramenta deve ser elaborado em equipe, porém só uma pessoa fica responsável para fazer a alteração e a montagem do mesmo.	Concorda fortemente	Concorda

Fonte: autoria própria

Tabela 21: Respostas obtidas pelo questionário - questões 11 a 15 (continuação)

	Questão 11	Questão 12	Questão 13	Questão 14	Questão 15
Respondente 6	Na minha opinião a ferramenta deve ser apresentada em uma reunião específica, apenas para entendimento do funcionamento da ferramenta pela equipe. Após isso, ela serviria como ferramenta consultiva pelos membros do projeto durante todo o desenvolvimento.	Concordo	Discordo. Na minha opinião esta ferramenta deve ser elaborada quando o levantamento dos requisitos já foi iniciado e já se possui um nível razoável de conhecimento do projeto. Acredito que a ferramenta seja mais útil para o acompanhamento dos requisitos ao longo do desenvolvimento do projeto do que nas fases iniciais.	Concorda fortemente	Nem concorda nem discorda
Respondente 7	Revisões preliminares de design	Concorda	Concorda	Concorda fortemente	Concorda
Respondente 8	Revisões preliminares de design e as reuniões críticas de design	Discordo	Concorda	Nem concorda nem discorda	Concorda fortemente
Respondente 9	Revisões preliminares de design e as reuniões críticas de design	Concorda fortemente	Apesar de concordar com a viabilidade do conceito em meio informatizado, ainda sim simpatizo com a ideia de se otimizar em meio mais informal, neste nível de maturidade em que se encontra, atualmente!	Concorda fortemente	Concorda fortemente
Respondente 5	Revisões preliminares de design e as reuniões críticas de design	Concorda fortemente	Concordo, acredito que contribui muito para o desenvolvimento do documento, contanto que após documento de forma padronizada.	Concorda fortemente	Concorda fortemente

Fonte: autoria própria

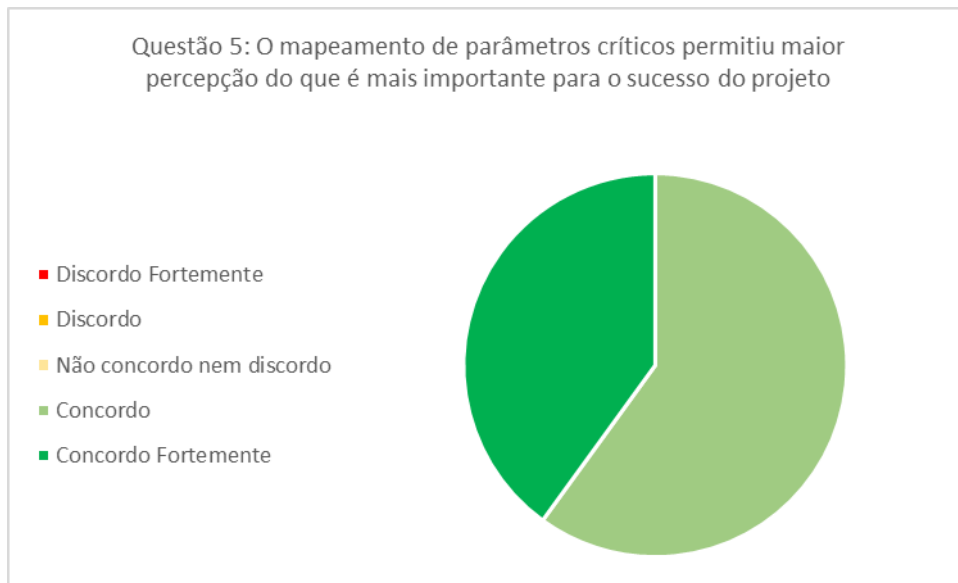
De acordo com os resultados dos questionários, pode-se sintetizar os seguintes resultados:

1. A avaliação dos respondentes no que se refere à disseminação das informações nele contidas foi positiva. Destacou-se a separação em zonas de representação, o que facilita a leitura e a boa aplicabilidade à uma quantidade reduzida de informações. Como pontos negativos, os códigos usados foram ditos como estando muito extensos, o que dificulta uma leitura rápida.
2. Como pontos fortes destacou-se, dentre outros fatores, a relação entre os requisitos funções e subsistemas, o que permite “perceber se está havendo atendimento aos requisitos”, a “visualização das interconexões entre os requisitos”, “permite que a ferramenta seja autoexplicativa” e permite o “fortalecimento do raciocínio na busca pelas soluções”.
3. Como pontos fracos, pode-se destacar que a codificação usada para representar os requisitos é desnecessariamente longa, e que a padronização por cores e simbologia que foi adotada necessitava de melhorias.

Foi indicado nas respostas de múltipla escolha que:

- 60% dos respondentes marcou a alternativa “concordo” da questão 5 enquanto 40% concorda fortemente. Isso indica que há percepção unânime acerca da importância dos requisitos críticos para um bom andamento de um projeto e o que justifica a necessidade de uma ferramenta de gestão de requisitos;

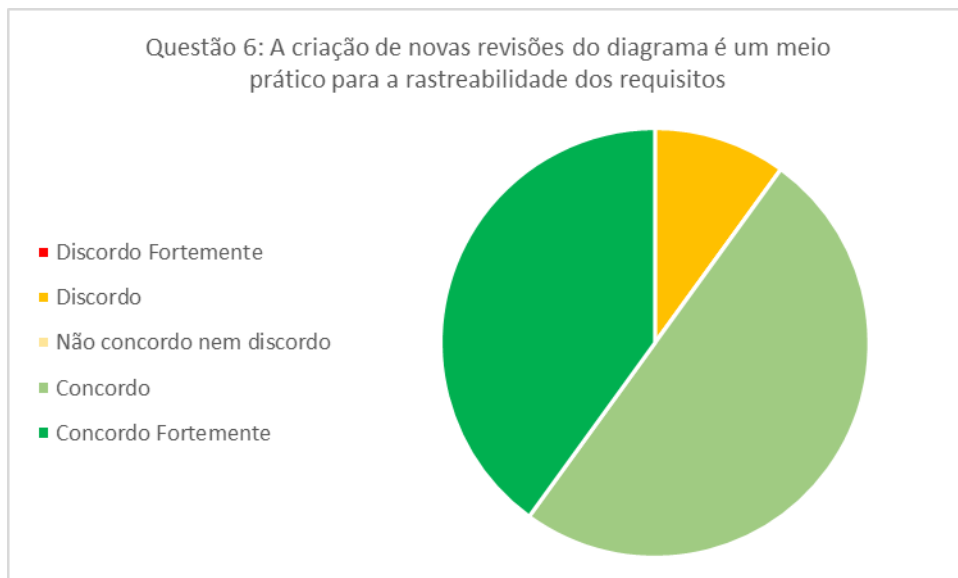
Figura 31: Percentual de respostas por alternativa da questão 5



Fonte: autoria própria

- Na questão 6, 40% dos respondentes concorda fortemente que novas revisões da ferramenta devam ser criadas para acompanhar a evolução dos requisitos , 50% concordam e somente 10% dos entrevistados discordam;

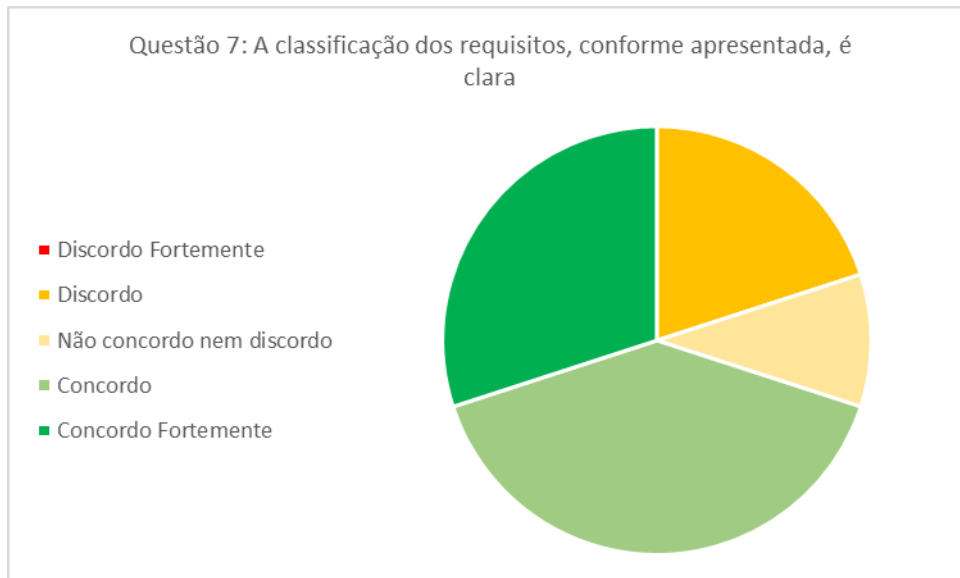
Figura 32: Percentual de respostas por alternativa da questão 6



Fonte: autoria própria

- Na questão 7, houve maior dispersão nos resultados: enquanto 30% dos respondentes marcou a assertiva “concorda fortemente”, outros 20% marcaram a opção “discordo”, mais 10% marcaram a opção “não concordo nem discordo” enquanto os 40% restantes optaram pela assertiva “concordo”. Isso indica que a classificação apresentada para os requisitos não foi entendida de modo unânime pelos respondentes.

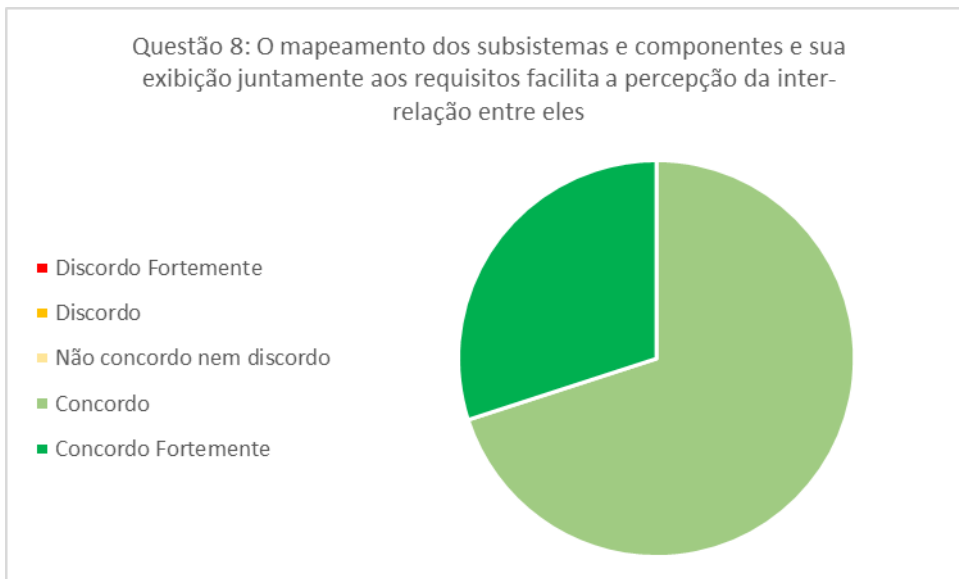
Figura 33: Percentual de respostas por alternativa da questão 7



Fonte: autoria própria

- Na questão 8, 30% dos respondentes marcaram a opção “concordo fortemente” enquanto os 70% restantes marcaram a opção concordo. Logo, a opção de mapear os subsistemas e componentes e a associação deles aos requisitos mostrou-se útil;

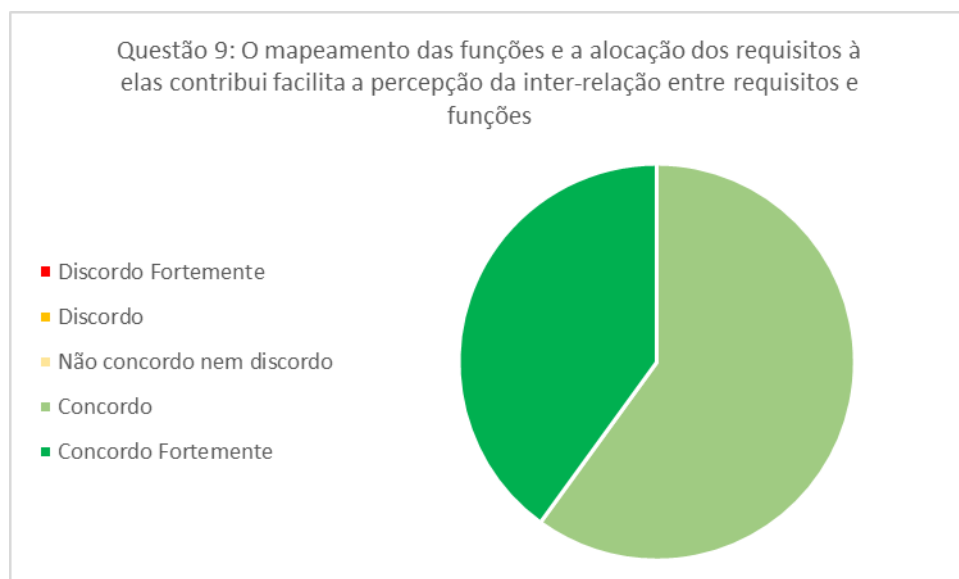
Figura 34: Percentual de respostas por alternativa da questão 8



Fonte: autoria própria

- Na questão 9, 40% dos respondentes marcaram a opção “concordo fortemente” enquanto os outros 60% optaram pela opção “concordo”. Isso mostra que a alocação de funções é uma prática que deve ser mantida na ferramenta, seguindo o recomendado pela literatura;

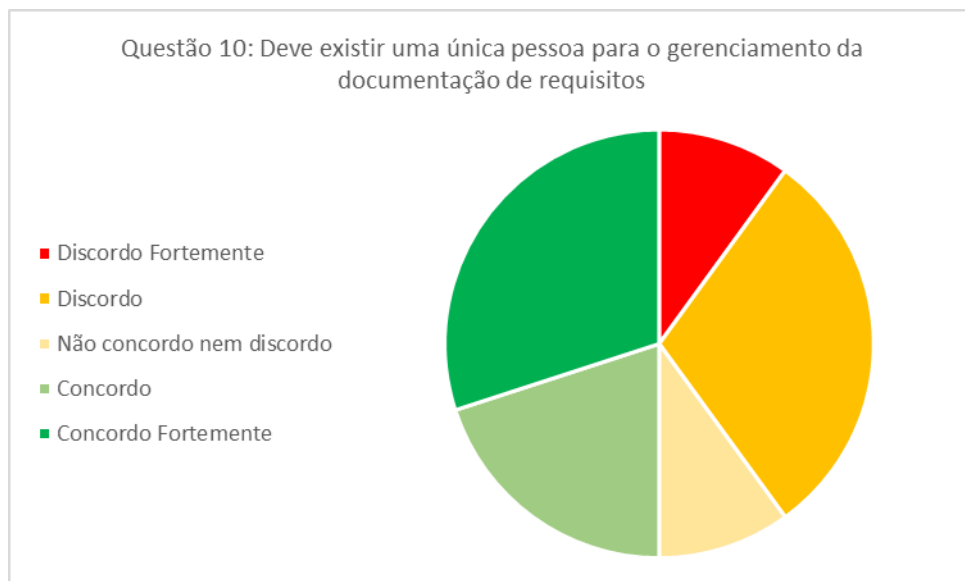
Figura 35: Percentual de respostas por alternativa da questão 9



Fonte: autoria própria

- Na questão 10, 30% dos respondentes optaram pela opção “concordo fortemente”, 20% marcaram a opção “concordo”, outros 30% marcaram a opção “discordo”, 10% marcaram a opção “discordo fortemente” enquanto 10% restantes marcaram a opção “não concordo nem discordo”. Não houve unanimidade na recomendação de que deve haver um profissional dedicado ao gerenciamento da ferramenta;

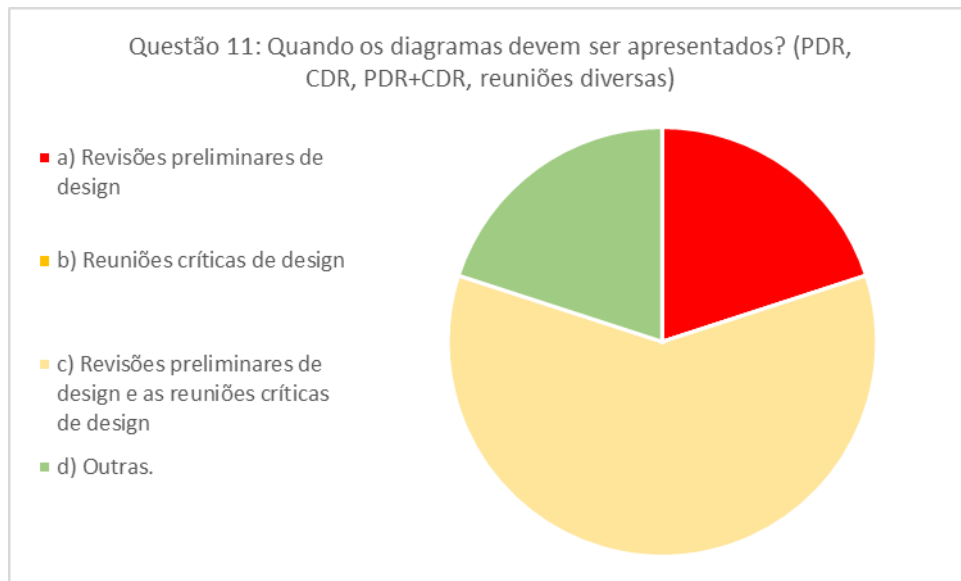
Figura 36: Percentual de respostas por alternativa da questão 10



Fonte: autoria própria

- Na questão 11, 60% dos respondentes marcaram a opção “c”, 20% a alternativa “d” enquanto 20% marcaram a opção “a”. A maioria optou pela opção de que a ferramenta deva ser revisada tanto nas reuniões críticas de design quanto nas reuniões preliminares, de modo que a verificação do atendimento aos requisitos seja feita continuamente;

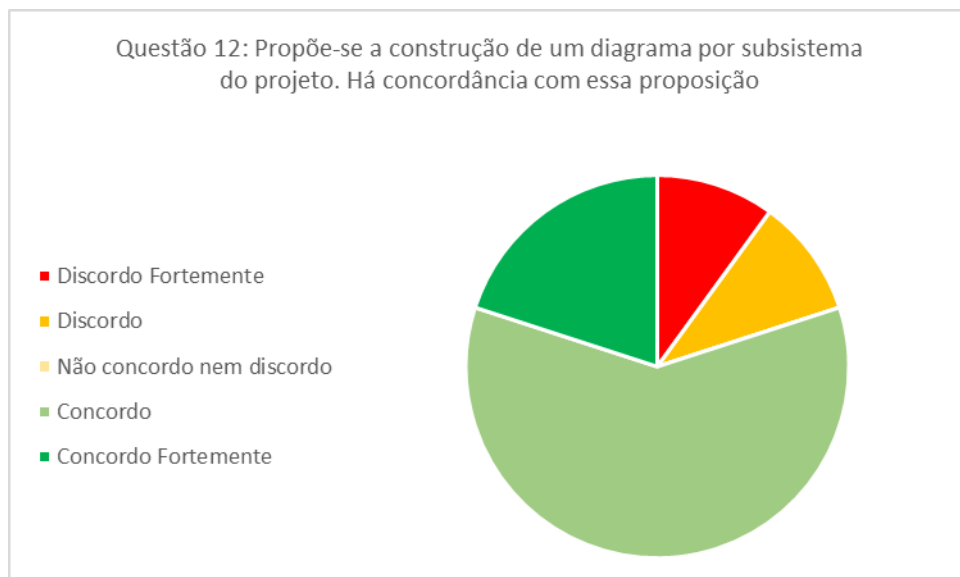
Figura 37: Percentual de respostas por alternativa da questão 11



Fonte: autoria própria

- Na questão 12, 80% dos respondentes optaram pela opção “concordo” enquanto 20% deles marcou a opção “discordo fortemente”. A maioria dos respondentes crê que a ferramenta seja mais aplicável à subsistemas individuais do que a representação de todo o sistema em desenvolvimento.

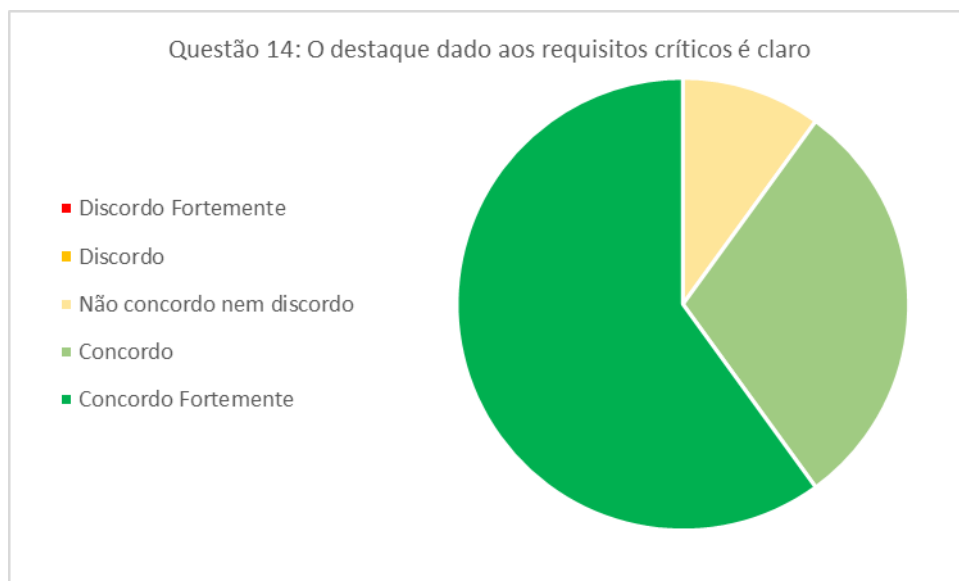
Figura 38: Percentual de respostas por alternativa da questão 12



Fonte: autoria própria

- Na questão 13, os respondentes afirmaram que a ferramenta deve ser elaborada em equipe, de modo que todos os integrantes do projeto possam ter o mesmo conhecimento acerca das informações do projeto. Porém, alguns opinaram que a ferramenta deva ter sua construção iniciada mesmo quando não existam informações maduras o suficiente enquanto outros preferem que ele seja construído quando as informações estiverem mais amadurecidas;
- Na questão 14, 60% dos respondentes marcaram a opção concordo fortemente, 30% marcaram a opção “concordo” enquanto 10% marcaram a opção “não concordo nem discordo”. Deste modo, houve aprovação ao destaque que é dado na ferramenta aos requisitos que são mais importantes ao sucesso do subsistema;

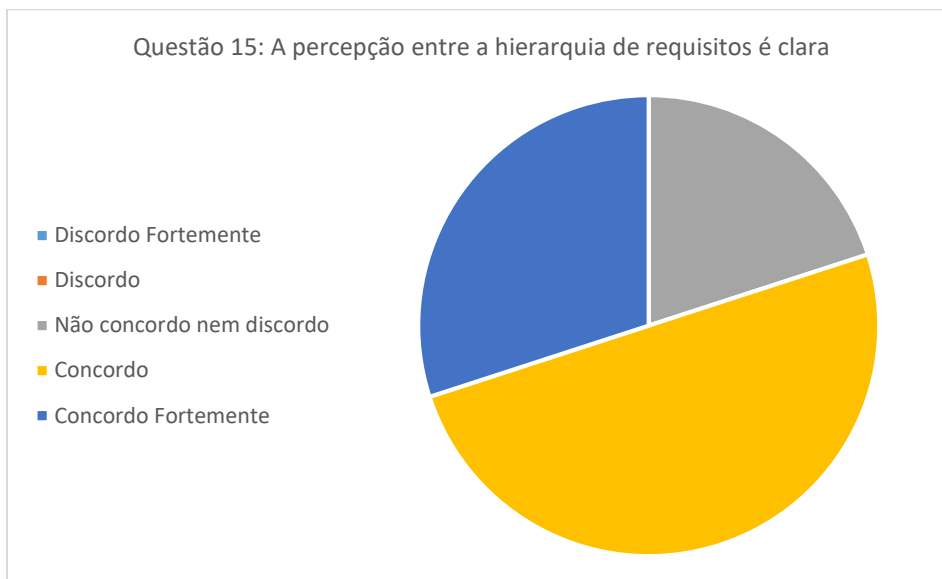
Figura 39: Percentual de respostas por alternativa da questão 14



Fonte: autoria própria

- Na questão 15, 50% dos respondentes marcou a opção “concordo”, 30% marcou a opção “concordo fortemente” enquanto 20% marcou a opção “não concordo nem discordo”. Logo, a hierarquização dos requisitos foi vista como útil e clara, o que indica que a ferramenta possui boa usabilidade.

Figura 40: Percentual de respostas por alternativa da questão 15



Fonte: autoria própria

7. CONCLUSÕES

A ferramenta foi avaliada, por intermédio do questionário, sob os seguintes critérios: facilidade de uso e interpretação, completeza e robustez. As principais conclusões obtidas foram:

4. A representação diagramática é uma forma eficiente de transmitir as informações acerca dos requisitos, com 100% dos respondentes concordando com a assertiva;
5. Para que a eficácia na disseminação das informações seja maior, os sistemas de codificação que representam as funções e os componentes devem ser os mais simples possíveis. Uma linguagem mais simples é o caminho a ser adotado para a representação dessas informações;
6. A construção da ferramenta de modo inicialmente informal contribui para maior interação entre os profissionais envolvidos;
7. A identificação dos requisitos críticos, e a sua representação na ferramenta, foi considerada útil por 100% dos respondentes. Segundo eles, há maior percepção do que pode ser controlado e alterado no projeto de modo a que os requisitos sejam atendidos;
8. Associar funções, requisitos e a arquitetura física do produto se mostrou útil para 100% dos respondentes; porém, maior clareza na associação só pode ser obtida à medida em que a arquitetura do produto venha sendo definida ao longo do projeto. Com base nessa assertiva, aponta-se para o direcionamento da construção de diversas revisões da ferramenta ao longo do projeto, à medida em que as informações sejam modificadas e/ou atualizadas;
9. Uma maior padronização das informações é útil para uma percepção mais ágil das informações contidas na ferramenta. Foi sugerido o uso de cores diferentes para cada diferente tipo de informação, de modo que a leitura se torne facilitada.

A ferramenta, portanto, cumpre seu papel no que se refere à percepção da interdependência entre os requisitos e de destacar a importância dos requisitos críticos. Além disso, permite ver quais componentes estão associados ao atendimento

de cada requisito; tal percepção permite dar mais segurança à equipe de projetos sobre a escolha dos componentes a serem usados, no que se refere ao desvio do projetado em relação ao especificado.

Em comparação com as ferramentas já existentes no mercado, pode-se destacar como principal vantagem a simplicidade de uso e construção e o destaque dado aos requisitos que são críticos ao sucesso do produto em desenvolvimento. O uso de linguagem natural, embora propensa a erros, também se mostra uma vantagem, visto que facilita o entendimento da informação que necessita ser transmitida e verificada. A ferramenta proposta também não se utiliza de linguagem de programação, embora possa servir como fundamento para desenvolvimento posterior de ferramenta de software.

Conforme identificado na revisão da literatura, notou-se que as ferramentas existentes não dão destaque às condições de projeto (ou restrições) e, normalmente, possuem foco somente nos requisitos funcionais. Nesse sentido, a ferramenta proposta nesse trabalho vem para buscar sanar essas deficiências. Menciona-se também que elas usam linguagem de programação específica, o que requer treinamento específico para operá-las. Em outras ferramentas, por fim, há módulos específicos para gerir as interligações entre requisitos e requisitos e elementos de design.

Deste modo, pode-se concluir que a ferramenta atingiu seus objetivos por facilitar a visualização das correlações, ao apresentá-las lado a lado e ao dar destaque às mais importantes e a adoção de diretrizes de escrita em linguagem natural. Menciona-se também, a exibição das restrições de desenvolvimento, que não estão presentes nas ferramentas que foram mencionadas ao longo do trabalho.

Porém, deve-se afirmar que a ferramenta proposta se mostrou mais adequada a ser aplicada em subsistemas de projetos mais complexos, (conforme evidenciado pela concordância de 90% dos respondentes com a 12ª questão do questionário) dado que a quantidade de requisitos de um projeto complexo pode ser muito grande. Outras limitações de aplicação da ferramenta são: menor eficiência caso as informações necessárias não estejam todas levantadas, e caso não tenha havido devido treinamento de uso. No que se refere à dimensão dos projetos, caso seja usado manualmente, ela é limitada quando aplicada à projetos de grande complexidade.

Decorrente dessa percepção, surge a recomendação de informatizar a ferramenta, para que esta adquira maior flexibilidade.

Quanto à natureza dos projetos, não há limitação, conforme foi observado nos resultados. A ferramenta foi aplicada em um projeto de equipamento eletro médico e de um robô de intervenção em poços de petróleo e em ambos a avaliação dos respondentes foi positiva.

No que se refere às dificuldades existentes quando da realização do trabalho, pode-se destacar a dificuldade de sincronia entre os cronogramas da dissertação e dos projetos nos quais a ferramenta foi aplicada, o que dificultou a obtenção de dados relacionados a prazos e custos; outra limitação se refere às diversas mudanças pelas quais os projetos passaram ao longo de sua execução, sobretudo referentes a alterações de escopo e de prazos de execução. Outra dificuldade que deve ser mencionada foi quanto à quantidade de respondentes: essa limitação se deveu à quantidade reduzida de profissionais envolvidos em cada um dos projetos, limitação essa intrínseca ao ambiente.

7.1. Sugestões de trabalhos futuros

Deixam-se as seguintes sugestões para trabalhos futuros:

- Automatizar a ferramenta, de modo que ela possa vir a ser capaz de gerenciar uma maior quantidade de informações;
- Adaptar a ferramenta para o gerenciamento, também, de outros requisitos de projeto, como custos e prazos;
- Avaliar a melhor forma de integrar os requisitos relacionados a custos e prazos aos requisitos técnicos de produto.

REFERÊNCIAS

ALEXANDER, Elitsa; BRESCIANI, Sabrina; EPPLER, Martin J. Knowledge scaffolding visualizations: A guiding framework. **Knowledge Management & E-Learning: an international journal**, v. 7, n. 2, p. 179-198, 2015.

ALMEFELT, Lars; ANDERSSON, Frederik; NILSSON, Patrik; MALMQVIST, Johan. Exploring requirements management in the automotive industry. In: **DS 31: Proceedings of ICED 03, the 14th International Conference on Engineering Design**, Stockholm. 2003. p. 63-64

ALMEFELT, Lars; NILSSON, Patrik; BERGLUND Fredrik; MALMQVIST, Johan . Requirements management in practice: findings from an empirical study in the automotive industry. **Research in engineering design**, v. 17, n. 3, p. 113-134, 2006.

AMBREEN, Talat; IKRAAN, Naveed; USMAN, Muhammad; NIAZI, Mahmood. Empirical research in requirements engineering trends and opportunities. **Requirements Engineering**, v. 23, n. 1, p. 63-95, 2018.

ARNAUT, Bruno M.; FERRARI, Denise B.; E SOUZA, Marcelo Lopes de Oliveira. A requirements engineering and management process in concept phase of complex systems. In: **2016 IEEE International Symposium on Systems Engineering (ISSE)**. IEEE, 2016. p. 1-6.

BAXTER, David; GAO, James; CASE, Keith; HARDING, Jenny; YOUNG, Bob; COCHRANE, Sean; DANI, Shilpa. A framework to integrate design knowledge reuse and requirements management in engineering design. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, v. 24, n. 4, p. 585-593, 2008.

BERGQUIST, Karin; ABEYSEKERA, John. Quality function deployment (QFD)—A means for developing usable products. **International journal of industrial ergonomics**, v. 18, n. 4, p. 269-275, 1996.

BROWNING, Tyson R. Applying the design structure matrix to system decomposition and integration problems: a review and new directions. **IEEE Transactions on Engineering management**, v. 48, n. 3, p. 292-306, 2001.

CHENG, Betty HC; ATLEE, Joanne M. Research directions in requirements engineering. In: **2007 Future of Software Engineering**. IEEE Computer Society, 2007. p. 285-303.

CLELAND-HUANG, Jane; GOTTEL, Oilly; HAYES, Jane Huffman; MADER, Patrick; Zisman, Andrea. Software traceability: trends and future directions. In: **Proceedings of the on Future of Software Engineering**. ACM, 2014. p. 55-69.

CLELAND-HUANG, Jane; CHANG, Carl K.; GE, Yujia. Supporting event based traceability through high-level recognition of change events. In: **Proceedings 26th Annual International Computer Software and Applications**. IEEE, 2002. p. 595-600.

COOPER, Robert G. Predevelopment activities determine new product success. **Industrial Marketing Management**, v. 17, n. 3, p. 237-247, 1988.

DE ALMEIDA, Carlos Eduardo David; CARRARETTO, Antônio Roberto; CURI, Erick Freitas; MARQUES, Louise Marcelle da Silva Almeida; ABATTI, Roberta Eleni Monteiro. Mau funcionamento do sistema de circulação extracorpórea: relato de caso. **Revista Brasileira de Anestesiologia**, p. 777-785, 2011.

DE SOUSA MENDES, Glauco Henrique; DE TOLEDO, José Carlos. Gestão do pré-desenvolvimento de produto: estudo de casos na indústria de equipamentos médico-hospitalares. **Production**, v. 22, n. 3, p. 391-404, 2012.

DEUTER, Andreas; OTTE, Andreas; EBERT, Marcel; POSSEL-DOLKEN, Frank. Developing the Requirements of a PLM/ALM Integration: An Industrial Case Study. In: **Product Lifecycle Management (Volume 4): The Case Studies**. Springer, Cham, 2019. p. 125-143.

DO, Sung-Hee; SUH, Nam P. Systematic OO programming with axiomatic design. **Computer**, v. 32, n. 10, p. 121-124, 1999.

EFFENDI, Iwan; HENSON, Brian; AGOURIDAS, Vassilis; DE PENNINGTON, Alan. Methods and tools for requirements engineering of made-to-order mechanical products. In: **ASME 2002 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference**. American Society of Mechanical Engineers, 2002. p. 151-160.

ESTEFAN, Jeff A. Survey of model-based systems engineering (MBSE) methodologies. **Incose MBSE Focus Group**, v. 25, n. 8, p. 1-12, 2007.

FACCIO, Karla. **Uma proposta para o desdobramento dos requisitos em parâmetros críticos no Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP)**. 2010. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

FACCIO, Karla; ECHEVESTE, Márcia Elisa Soares; MARCONDES FILHO, Danilo. Gestão de parâmetros críticos no processo de desenvolvimento de produtos por meio de simulação e modelagem estatística. **Cadernos do IME-Série Estatística**, v. 31, n. 2, p. 31, 2011.

FUNCTIONAL SPECS. **Acclaro DFSS, 2017**. Página inicial. Disponível em < https://dfss-software.com/dfss_features.asp >. Acesso em 10 de set. de 2019.

GRIFFIN, Abbie; HAUSER, John R. The Voice of the Customer. **Marketing science**, v. 12, n. 1, p. 1-27, 1993.

GUENOV, Marin D.; BARKER, Stephen G. Application of axiomatic design and design structure matrix to the decomposition of engineering systems. **Systems engineering**, v. 8, n. 1, p. 29-40, 2005.

HALL, Andreas; VIRRANTAUS, Kirsi. Visualizing the workings of agent-based models: Diagrams as a tool for communication and knowledge acquisition. **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 58, p. 1-11, 2016.

HASKINS, Cecilia. **Systems engineering handbook**. In: INCOSE, 2006.

HAYES, Jane Huffman; DEKHTYAR, Alex; SUNDARAM, Senthil Karthikeyan. Advancing candidate link generation for requirements tracing: The study of methods. **IEEE Transactions on Software Engineering**, v. 32, n. 1, p. 4-19, 2006.

HAYES, Jane Huffman; DEKHTYAR, Alex; SUNDARAM, Senthil Karthikeyan. Improving after-the-fact tracing and mapping: supporting software quality predictions. **IEEE software**, v. 22, n. 6, p. 30-37, 2005.

HEINDL, Matthias; BIFFL, Stefan. A case study on value-based requirements tracing. In: **Proceedings of the 10th European software engineering conference held jointly with 13th ACM SIGSOFT international symposium on Foundations of software engineering**. ACM, 2005. p. 60-69.

HINCKEL, Edmar. **Incorporação de requisitos a modelos de sistemas através da aplicação de SYSML para melhoria do processo de desenvolvimento de produtos**. 2016. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

HIRSHORN, Steven R.; VOSS, Linda D.; BROMLEY, Linda K. **Nasa systems engineering handbook**. 2017.

HOLZNER, Philipp; RAUCH, Erwin; SPENA, Pasquale Russo; MATT, Dominik T. Systematic design of SME manufacturing and assembly systems based on Axiomatic Design. **Procedia CIRP**, v. 34, p. 81-86, 2015.

HOU, Huei Tse (Ed.). **New research on knowledge management models and methods**. BoD—Books on Demand, 2012.

KOWALSKA, Malgorzata; PAZDZIOR, Magdalena; KRZTON-MAZIOPA, Anna. Implementation of QFD method in quality analysis of confectionery products. **Journal of Intelligent Manufacturing**, v. 29, n. 2, p. 439-447, 2018.

LAMBERT, Denis; SLATER, Stanley F. Perspective: First, fast, and on time: The path to success. Or is it? **Journal of Product Innovation Management: an international publication of the product development & management association**, v. 16, n. 5, p. 427-438, 1999.

LEITE, Julio Cesar Sampaio do Prado ; FREEMAN, Peter A. Requirements validation through viewpoint resolution. **IEEE transactions on Software Engineering**, v. 17, n. 12, p. 1253-1269, 1991.

LIGHTSEY, Bob. **Systems engineering fundamentals**. DEFENSE ACQUISITION UNIV FT BELVOIR VA, 2001.

MARTINS, Luiz Eduardo; GORSCHKEK, Tony. Requirements engineering for safety-critical systems: overview and challenges. **IEEE Software**, 2017.

MCKAY, Alison; DE PENNINGTON, Alan; BAXTER, Jim. Requirements management: a representation scheme for product specifications. **Computer-Aided Design**, v. 33, n. 7, p. 511-520, 2001.

MCLELLAN, James Michael; MOCKO, Gregory G; MORKOS, Beshoy; SUMMERS, Joshua D. Requirement modeling systems for mechanical design: a systematic

method for evaluating requirement management tools and languages. In: **ASME 2010 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference**. American Society of Mechanical Engineers, 2010. p. 1247-1257.

MEZHER, Toufic; ABDUL-MALAK, M.Asen; GHOSN, Ibrahim; AJAM, MAHER. Knowledge management in mechanical and industrial engineering consulting: a case study. **Journal of management in engineering**, v. 21, n. 3, p. 138-147, 2005.

MONTELISCIANI, Gabriele; GABELLONI, Donata; FANTONI, Gualtiero; CALGARO, Emanuele G; TAVIANI, Corrado. Ordering the Chaos: a Guided Translation of Needs into Product Requirements. **Procedia CIRP**, v. 21, p. 403-408, 2014.

NEVES, Sandra Miranda; DA SILVA, Carlos Eduardo Sanches; SALOMON, Valério Antonio Pamplona; DA SILVA, Aneirson Francisco; SOTOMONTE, Bárbara Elizabeth Pereira. Risk management in software projects through knowledge management techniques: cases in Brazilian incubated technology-based firms. **International Journal of Project Management**, v. 32, n. 1, p. 125-138, 2014.

NUSEIBEH, Bashar; EASTERBROOK, Steve. Requirements engineering: a roadmap. In: **Proceedings of the Conference on the Future of Software Engineering**. ACM, 2000. p. 35-46.

NUSEIBEH, Bashar; EASTERBROOK, Steve; RUSSO, Alessandra. Leveraging inconsistency in software development. **Computer**, v. 33, n. 4, p. 24-29, 2000.

PAHL, Gerhard; BEITZ, Wolfgang; FELDHUSEN, Jorg; GROTE, Karl-Heinrick. **Projeto na Engenharia**. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 2005.

PEREIRA, Ricardo Oliveira; REZENDE, Denis Alcides; ABREU, A. F. Gestão do conhecimento com apoio dos recursos de sistemas de informação e tecnologias emergentes. **Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, v. 20, 2000.

QUALICA SOFTWARE. **Qualica 17, 2019**. Página inicial. Disponível em < https://www.qualica.net/qps_keyfeatures.html >. Acesso em 10 de set. de 2019.

RAMESH, Balasubramaniam; Powers, Timothy; STUBBS, Curtis; EDWARDS, Michael. Implementing requirements traceability: a case study. In: **Proceedings of 1995 IEEE International Symposium on Requirements Engineering (RE'95)**. IEEE, 1995. p. 89-95.

ROZENFELD, Henrique; FORCELLINI, Fernando Antônio; AMARAL, Daniel Capaldo; TOLEDO, José Carlos; DA SILVA, Sérgio Luiz; ALLIPRANDINI, Dário Henrique; SCALICE, Régis Kovacs. **Gestão de desenvolvimento de produtos: uma referência para a melhoria do processo**. São Paulo: Editora Saraiva, 2006.

SCHLAGER, Kenneth J. Systems engineering-key to modern development. **IRE Transactions on Engineering Management**, n. 3, p. 64-66, 1956.

SHEN, Xiao-Xiang; TAN, Kay C.; XIE, Mien. An integrated approach to innovative product development using Kano's model and QFD. **European journal of innovation management**, v. 3, n. 2, p. 91-99, 2000.

SHORTELL, Thomas M. (Ed.). **INCOSE Systems Engineering Handbook: A Guide for System Life Cycle Processes and Activities**. John Wiley & Sons, 2015.

SIDDIQI, Jawed; MORREY, I.C; HIBBERD, R; BUCKBERRY, G. Towards a system for the construction, clarification, discovery and formalisation of requirements. In: **Proceedings of IEEE International Conference on Requirements Engineering**. IEEE, 1994. p. 230-238.

SIEMENS PLM SOFTWARE. **Teamcenter 10.1 Systems Engineering and Requirements Management / Systems Architect/Requirements Management User's Manual – 2016**. Plano, Texas, USA, 2016. 472 p.

DA SILVA, Carlos Eduardo Sanches. **Método para avaliação do desempenho do processo de desenvolvimento de produtos**. 2001. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina.

SILVA, Edna L. da; MENEZES Estera Muszkat. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação** – 3. ed. rev. Atual – Florianópolis: Laboratório de Ensino a Distância da UFSC, 2001. 121p.

SLEEPER, Andrew D. **Design for Six Sigma statistics: 59 tools for diagnosing and solving problems in DFSS initiatives**. USA: McGraw-Hill, 2006.

SOUZA, Maria Helena L.; ELIAS, Décio O. **Fundamentos da circulação extracorpórea**. In: Fundamentos da circulação extracorpórea. Segunda edição. Rio de Janeiro: Centro editorial Alfa Rio, 1995.

SPAHIĆ, Amir; GRABAR, Darko; MAZUR, Marta; GRD, Petra. **Knowledge Management 2.0 for SMEs**. 2014.

TORKAR, Richard et al. Requirements traceability: a systematic review and industry case study. **International Journal of Software Engineering and Knowledge Engineering**, v. 22, n. 03, p. 385-433, 2012.

VAN LAMSWEERDE, Axel. Requirements engineering in the year 2000: a research perspective. In: **Proceedings of the 22nd international conference on Software engineering**. ACM, 2000. p. 5-19.

WHEELWRIGHT, Steven C.; CLARK, Kim B. **Revolutionizing product development: quantum leaps in speed, efficiency, and quality**. Simon and Schuster, 1992.

WIESNER, Stefan; NILSSON, Sara; THOBEN, Klaus-Dieter. Integrating requirements engineering for different domains in system development—lessons learnt from industrial SME cases. **Procedia CIRP**, v. 64, p. 351-356, 2017.

WINKLER, Stefan; VON PILGRIM, Jens. A survey of traceability in requirements engineering and model-driven development. **Software & Systems Modeling**, v. 9, n. 4, p. 529-565, 2010.

ZHANG, Zhinan; LI, Xuemeng; LIU, Ze-Lin. A Closed-loop Based Framework for Design Requirement Management. In: **ISPE CE**. 2014. p. 444-453.

APÊNDICE

Anexo 1: Questionário para avaliação dos resultados

QUESTIONÁRIO – FERRAMENTA DE ACOMPANHAMENTO DE REQUISITOS

Instruções para o preenchimento

1. Este questionário tem como objetivo avaliar a efetividade do método e ferramenta de gerenciamento de requisitos proposta.
2. O questionário é composto por questões abertas e de múltipla escolha.
3. Nas questões de múltipla escolha, apenas uma (1) alternativa é válida.

QUESTÕES

Q1) Qual a avaliação da ferramenta proposta no que se refere à disseminação de informações?

Q2) Quais os pontos fortes identificados na ferramenta?

Q3) Quais os pontos fracos identificados na ferramenta?

Q4) Entre a visualização diagramática e a visualização em uma planilha, qual oferece maior praticidade na visualização das informações?

Q5) O mapeamento de parâmetros críticos permitiu maior percepção do que é mais importante para o sucesso do projeto

Discordo fortemente	Discordo	Não concordo nem discordo	Concordo	Concordo fortemente
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Q6) A criação de novas revisões da ferramenta é um meio prático para a rastreabilidade dos requisitos

Discordo fortemente	Discordo	Não concordo nem discordo	Concordo	Concordo fortemente
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Q7) A classificação dos requisitos, conforme apresentada, é clara

Discordo fortemente	Discordo	Não concordo nem discordo	Concordo	Concordo fortemente
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Q8) O mapeamento dos subsistemas e componentes e sua exibição juntamente aos requisitos facilita a percepção da inter-relação entre eles

Discordo fortemente	Discordo	Não concordo nem discordo	Concordo	Concordo fortemente
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Q9) O mapeamento das funções e a alocação dos requisitos à elas contribui facilita a percepção da inter-relação entre requisitos e funções

Discordo fortemente	Discordo	Não concordo nem discordo	Concordo	Concordo fortemente
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Q10) Deve existir uma única pessoa para o gerenciamento da documentação de requisitos

Discordo fortemente	Discordo	Não concordo nem discordo	Concordo	Concordo fortemente
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Q11) Quando a ferramenta deve ser apresentada? (PDR, CDR, PDR+CDR, reuniões diversas)

- a) Revisões preliminares de design
- b) Reuniões críticas de design
- c) Revisões preliminares de design e as reuniões críticas de design
- d) Outras. Quais?

Q12) Propõe-se a construção de uma ferramenta por subsistema do projeto. Há concordância com essa proposição

Discordo fortemente	Discordo	Não concordo nem discordo	Concordo	Concordo fortemente
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Q13) Sugere-se que, antes de representar a ferramenta de forma informatizada, ele deva ser elaborado pela equipe em um meio mais informal. Qual a percepção acerca dessa proposta?

Q14) O destaque dado aos requisitos críticos é claro

Discordo fortemente	Discordo	Não concordo nem discordo	Concordo	Concordo fortemente
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Q15) A percepção entre a hierarquia de requisitos é clara

Discordo fortemente	Discordo	Não concordo nem discordo	Concordo	Concordo fortemente
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>