

UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

RODRIGO BERTIN

IMPLEMENTAÇÃO DO MÉTODO E CONCEITOS DFMA
EM PROJETOS PARA CONSTRUÇÃO DE EQUIPAMENTOS

BENTO GONÇALVES

2018

RODRIGO BERTIN

**IMPLEMENTAÇÃO DO MÉTODO E CONCEITOS DFMA
EM PROJETOS PARA CONSTRUÇÃO DE EQUIPAMENTOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade de Caxias do Sul, como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientador Prof. Dr. Mateus Panizzon

BENTO GONÇALVES

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Universidade de Caxias do Sul
Sistema de Bibliotecas UCS - Processamento Técnico

B544i Bertin, Rodrigo
Implementação do método e conceitos DFMA em projetos para
construção de equipamentos / Rodrigo Bertin. – 2018.
128 f. : il. ; 30 cm

Dissertação (Mestrado) - Universidade de Caxias do Sul, Programa
de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, 2018.
Orientação: Mateus Panizzon.

1. Produtos novos. 2. Processos de fabricação. 3. Planejamento da
produção. 4. Controle de custo. 5. Engenharia de produção. I. Panizzon,
Mateus, orient. II. Título.

CDU 2. ed.: 658.512.2

Catalogação na fonte elaborada pela(o) bibliotecária(o)
Ana Guimarães Pereira - CRB 10/1460

RODRIGO BERTIN

**IMPLEMENTAÇÃO DO MÉTODO E CONCEITOS DFMA
EM PROJETOS PARA CONSTRUÇÃO DE EQUIPAMENTOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade de Caxias do Sul, como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Produção.

Aprovado em 18/12/2018

Banca Examinadora

Prof. Dr. Mateus Panizzon
Universidade de Caxias do Sul – UCS

Prof. Dr. Gabriel Vidor
Universidade de Caxias do Sul – UCS

Prof. Dr. Mateus Zanatta
Universidade de Caxias do Sul – UCS

Prof. Dra. Liane Mählmann Kipper
Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC

AGRADECIMENTOS

Anteriormente a esse trabalho acadêmico, causava-me estranheza pensar que ao final de todo o estudo eu iria sentar e tirar um tempo para agradecer à outras pessoas pelo trabalho que eu mesmo iria desenvolver. Porém, ao final de tudo isso, o meu pensamento é totalmente diferente, talvez essa mudança, também passe muito pelo conhecimento e amadurecimento adquirido durante essa etapa tão importante da minha vida pessoal e profissional. A ideia nesse momento é sim agradecer, e agradecer com veemência a todos que estiveram a meu lado nessa fase.

O resultado mais importante desse trabalho, foi compreender que, não se desenvolve um trabalho sozinho, e sim se constrói através de ações, sugestões, motivações, decepções, erros e discussões provindas de todos aqueles que estão ao nosso redor.

Gostaria de deixar aqui então, o meu primeiro e humilde agradecimento à Deus pela saúde e oportunidade.

Aos meus pais Renato Bertin e Marilene Brun Bertin, pelo incentivo ao estudo ao longo de toda à minha vida.

Aos meus irmãos Marcelo Bertin e Renan Bertin, pela força e auxílio em diversos momentos, inclusive sendo exemplos de paciência e confiança, respectivamente.

À minha querida e amada namorada Monica Rizzotto, pela paciência e apoio ao longo dessa caminhada.

À empresa onde, ocorreram os estudos por possibilitar que eu desenvolvesse meus conhecimentos utilizando toda à sua estrutura.

À Universidade de Caxias do Sul, pela oportunidade e disponibilidade de entregar um curso de extrema excelência.

Aos meus professores e em especial a dois deles, o coordenador do curso Prof. Dr. Gabriel Vidor e ao meu orientador Prof. Dr. Mateus Panizzon.

Ao meu orientador Mateus Panizzon, pela excelência em seus ensinamentos, a todo seu tempo dedicado e a amizade que construímos ao longo dos estudos.

E por fim, à dois amigos especiais e de longa data, Josias Morari e Thiago Macangnin, que foram também os grandes companheiros, conselheiros, incentivadores e motivadores nessa jornada tão especial.

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho a memória do meu amado e falecido pai Renato Bertin, por ser o maior incentivador nos estudos e a minha mãe Marilene Brun Bertin, que hoje desempenha com maestria os papéis de pai e mãe.

RESUMO

O *DFMA* ou *Design for Manufacturing and Assembly* é uma metodologia baseada em conceitos e critérios que busca agilizar, facilitar e diminuir custos no desenvolvimento de produtos. Geralmente a aplicação desse método, é realizada em conjunto com algum processo de desenvolvimento de produto. Essa metodologia, pode ser aplicada de uma forma mais simples, apenas utilizando os seus princípios, ou de forma mais elaborada com o auxílio de *softwares* específicos. O presente trabalho teve como objetivo aplicar os conceitos dessa metodologia, para a construção e desenvolvimento de equipamentos em diversos níveis de complexidade. A intenção foi aplicar o método de maneira genérica, em um ambiente de extrema diversidade, ou seja, em equipamentos com alta e baixa complexidade, porém com intensidades diferentes. O procedimento para alcançar esse objetivo, foi a utilização de uma pesquisa-ação, com o auxílio de entrevistas planejadas para definir critérios e princípios que devam ser contemplados durante a implementação do método *DFMA*. Essa pesquisa utilizou as instruções e critérios presentes na literatura, juntamente com os dados vindos das entrevistas a fim de elaborar um plano de ação, para que a metodologia *DFMA* pudesse ser testada e implementada no processo de desenvolvimento e construção de equipamentos. O processo iniciou com entrevistas, avaliação e classificação das famílias de equipamentos existentes na empresa, visando escolher quais as famílias e projetos ideais para o estudo. Após isso, foi realizada uma minuciosa análise de *DFMA* em dois projetos de equipamentos, um desses equipamentos com baixa e outro com alta complexidade, a fim de testar o método nos dois extremos de complexidade. Essa análise, foi assistida por uma série de critérios definidos como guia *DFMAfull* e guia *DFMAexpress*, os quais tiveram a intenção de apoiar e guiar a realização dos testes. Através dessa análise, foi possível refazer os projetos desses equipamentos, levando em consideração os princípios do *DFMA* definidos nas entrevistas e inserindo as sugestões vindas dos guias *DFMAfull* e *DFMAexpress*. Ao final dos testes, foi realizada uma comparação dos projetos de equipamentos já existentes na empresa, com os novos projetos baseados na metodologia, apresentando na forma de indicadores quais foram os ganhos ou perdas obtidas. Como resultados mais expressivos tivemos redução de até 39,5% no tempo de projeto dos equipamentos de alta complexidade, redução de 29,4% no tempo de manufatura, 88,8% no tempo de montagem e reduções de custo próximas de 20%.

Palavras-chave: Desenvolvimento de produtos. Equipamentos. *DFMA*. Redução de Custos.

ABSTRACT

DFMA or Design for Manufacturing and Assembly is a methodology based on concepts and criterion that seeks to streamline, facilitate, and divert costs in products development, and generally the application of this method is performed in conjunction with some product development process. This methodology can be applied in a simpler way only by applying its principles, or in a more elaborate way with the aid of specific software. The present study had as objective to apply the concepts of this methodology for the construction and development of equipments at various levels of complexity, that is, apply the method generically in an environment of extreme diversity, that is, in equipment with high and low complexity, but with intensities many different. The procedure to achieve this objective was the use of an action research with the aid of planned interviews to define criteria and principles which should be contemplated in the implementation of the DFMA method. This research used the instructions and criteria present in the literature together with data from the interviews in order to prepare an action plan for that the methodology DFMA could be tested and implemented in the process of development and construction of equipments. The process began with an interview, evaluation and classification of equipment families existing in the company to choose which families and projects are ideal for the study. After that, a thorough DFMA analysis was carried out in two equipment projects, one with low and the other with high complexity, in order to test the method at both extremes of complexity. This analysis was assisted by a series of criteria defined as guide *DFMAfull* and guide *DFMAexpress*, they were intended to support and guide the tests. Through this analysis was possible to remake the projects of this equipments considering the principles of DFMA defined in interviews and inserting suggestions from the guides *DFMAfull* and *DFMAexpress*. At the end of the tests was performed a comparison of existing equipment projects in the company with the new projects based on the methodology, presenting in the form of indicators what were the gains or losses obtained. The most significant results were a reduction of 39.5% in the design time of high complexity equipment, 29.4% reduction in manufacturing time, 88.8% in assembly time and cost reductions close to 20%.

Keywords: Product development. Equipments. DFMA. Cost reduction.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Principais produtos produzidos pela organização.....	23
Figura 2 - Representação do modelo <i>stage-gates</i>	31
Figura 3 - Representação das Etapas de Desenvolvimento de Produtos.....	32
Figura 4 - Representação do PDP com e sem o <i>DFMA</i>	33
Figura 5 - Representação das fases onde o <i>DFMA</i> é aplicado.....	37
Figura 6 - Representação da estrutura e localização no <i>DFMA</i> no processo do projeto.....	38
Figura 7 - Economia de tempo obtida pela utilização do <i>DFMA</i> no PDP.....	39
Figura 8 - Representação de montagens com a mesma função e custos diferentes.....	41
Figura 9 - Representação da matriz morfológica.....	47
Figura 10 - Representação da solução encontrada.....	47
Figura 11 - Representação do Sistema Cartesiano e <i>GD&T</i>	48
Figura 12 - Representação do ciclo da pesquisa-ação.....	53
Figura 13 - Representação do ciclo de pesquisa-ação adaptado.....	54
Figura 14 - Representação do processo de construção de equipamentos.....	57
Figura 15 - Representação de famílias e subfamílias sugeridas.....	59
Figura 16 - Representação do equipamento de maior complexidade.....	60
Figura 17 - Representação do equipamento de menor complexidade.....	60
Figura 18 - Representação do processo de construção de equipamentos sugerido.....	61
Figura 19 - Representação da localização do <i>DFMA</i> dentro do PDP.....	62
Figura 20 - Representação dos passos utilizados.....	64
Figura 21 - Representação de diferentes modelos de <i>stage-gates</i>	65
Figura 22 - Representação da matriz de riscos.....	67
Figura 23 - Representação da Matriz Morfológica.....	77
Figura 24 – Exemplo de Utilização da Matriz Morfológica.....	78
Figura 25 - Representação da Quantidade de Itens por Processo de Manufatura.....	84
Figura 26 - Representação da Quantidade de Peças.....	84
Figura 27 - Representação dos Tempos de Manufatura.....	85
Figura 28 - Representação dos Tempos Utilizados.....	86
Figura 29 - Representação dos Custos.....	86
Figura 30 - Representação da Localização dos Custos sem <i>DFMA</i>	87
Figura 31 - Representação da Localização dos Custos com <i>DFMA</i>	87
Figura 32 - Representação da Quantidade de Itens.....	88

Figura 33 - Representação da Quantidade de Peças	88
Figura 34 - Representação dos Tempos de Manufatura	89
Figura 35 - Representação dos Tempos Utilizados	89
Figura 36 - Representação dos Custos.....	90
Figura 37 - Representação da Localização dos Custos sem <i>DFMA</i>	90
Figura 38 - Representação da Localização dos Custos sem <i>DFMA</i>	91
Figura 39 - Representação de duas Versões do Carro Principal com e sem o <i>DFMAfull</i>	92
Figura 40 - Representação Parcial do Carro Principal	93
Figura 41 - Representação Parcial do Carro Principal com Aplicação do <i>DFMAfull</i>	93
Figura 42 - Representação dos Dados de Parte do Carro Principal.....	94
Figura 43 - Representação dos Mandris Principais	95
Figura 44 - Representação dos Mandris Principais com Aplicação do <i>DFMAfull</i>	95
Figura 45 - Representação da Base Principal	96
Figura 46 - Representação da Fixação Utilizada antes do <i>DFMAexpress</i>	96
Figura 47 - Representação da Base Principal com Aplicação do <i>DFMAexpress</i>	97
Figura 48 - Representação da Fixação Utilizada após Aplicação <i>DFMAexpress</i>	97
Figura 49 - Representação de Sistema de Auto Localização Desenvolvido	98
Figura 50 - Representação de Componentes Antes do <i>DFMAexpress</i>	99
Figura 51 - Representação de Componentes após Aplicação <i>DFMAexpress</i>	99
Figura 52 - Representação do Carro Linear Padronizado e Modularizado	103
Figura 53 - Representação de Conjunto com Características de <i>DFMA</i>	103

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Representação dos indicadores utilizados	66
Quadro 2 - Representação das Respostas do Grupo 1 de Perguntas	70
Quadro 3 - Representação das Respostas do Grupo 2 de Perguntas	72
Quadro 4 - Representação das Respostas do Grupo 3 de Perguntas	73
Quadro 5 - Representação das Respostas do Grupo 3 de Perguntas	74
Quadro 6 - Representação das Respostas do Grupo 3 de Perguntas	74
Quadro 7 - Representação dos dados do projeto de alta complexidade	80
Quadro 8 - Representação dos dados do projeto de baixa complexidade	81
Quadro 9 - Representação do Plano de Ação	100

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultados Encontrados na Pesquisa “ <i>DFMA</i> ”	20
Tabela 2 - Resultados Encontrados na Pesquisa “ <i>Design for Manufacturing and Assembly</i> ” .	20
Tabela 3 - Resultados Encontrados na Pesquisa “ <i>DFMA for equipments</i> ”	21

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CCAA	Código de Catalogação Anglo-Americano
<i>CAD</i>	<i>Computer-Aided Design</i>
<i>CAE</i>	<i>Computer-Aided Engineering</i>
<i>CAM</i>	<i>Computer-Aided Manufacturing</i>
<i>CAT</i>	<i>Computer-Aided Tolerancing</i>
<i>DFA</i>	<i>Design for Assembly</i>
<i>DFM</i>	<i>Design for Manufacture</i>
<i>DFMA</i>	<i>Design for Manufacture and Assembly</i>
<i>DFSS</i>	<i>Design for Six Sigma</i>
<i>DFX</i>	<i>Design for Excellence</i>
DP	Desenvolvimento de Produto
<i>GD&T</i>	<i>Geometric Dimensioning and Tolerancing</i>
PDP	Processo de Desenvolvimento de Produto
TCC	Trabalho de Conclusão do Curso
TGI	Trabalho de Graduação Interdisciplinar
UCS	Universidade de Caxias do Sul
Vol.	Volume

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO	17
1.2	JUSTIFICATIVA	19
1.2.1	Justificativa teórica.....	19
1.2.2	Justificativa prática	22
1.3	QUESTÃO DE PESQUISA	25
1.4	OBJETIVOS	26
1.4.1	Objetivo geral.....	26
1.4.2	Objetivos específicos	26
1.5	Delimitações do estudo.....	26
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	28
2.1	DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS	28
2.2	DESIGN FOR “X” (DFX).....	32
2.3	DESIGN FOR MANUFACTURING AND ASSEMBLY (DFMA).....	34
2.3.1	História do <i>Design for Manufacturing and Assembly</i>.....	34
2.3.2	Definição do <i>Design for Manufacturing and Assembly</i>	35
2.3.3	Principais Obstáculos que Inviabilizam a Implementação do <i>DFMA</i>	39
2.3.4	Leis e Princípios de Aplicação do <i>Design for Manufacturing and Assembly</i>	40
2.3.4.1	Método <i>DFM</i>	41
2.3.4.2	Método <i>DFA</i>	43
2.3.5	Trabalhos correlatados ao <i>DFMA</i>.....	45
2.4	FERRAMENTAS COMPLEMENTARES	46
2.4.1	Matriz Morfológica.....	46
2.4.2	Engenharia Dimensional	48
3	MÉTODO	50
3.1	PESQUISA	50
3.1.1	Tipos de pesquisa quanto aos objetivos	51
3.1.2	Tipos de pesquisa quanto aos procedimentos metodológicos	51
3.2	ETAPAS DO MÉTODO PROPOSTO	54

3.3	INSTRUMENTOS DE COLETA DADOS ASSOCIADOS AO MÉTODO.....	55
3.4	PASSOS PARA A IMPLEMENTAÇÃO DO MÉTODO dfma	57
3.5	ANÁLISE DE RISCOS E GESTÃO DA MUDANÇA	66
3.6	ANÁLISE DOS DADOS	68
4	RESULTADOS	69
4.1	DESCRIÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	69
4.1.1	Resultados da pré-etapa à análise DFMA	69
4.1.2	Desenvolvimento do DFMA com a coleta e estruturação de dados para análise..	75
4.1.3	Análise dos Resultados após aplicação do DFMA	82
4.1.3.1	Análise do Equipamento de Alta Complexidade.....	83
4.1.3.2	Análise do Equipamento de Baixa Complexidade	88
4.1.3.3	Resultados Qualitativos do DFMAfull e DFMAexpress.....	91
4.1.4	Plano de Ação para escalar a Implementação para a empresa	100
4.2	AVALIAÇÃO: SÍNTESE DOS RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO DFMA	105
5	CONCLUSÃO	107
5.1	IMPLICAÇÕES TEÓRICAS	107
5.2	IMPLICAÇÕES GERENCIAIS	109
5.3	TRABALHOS FUTUROS	111
	REFERÊNCIAS	112

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho busca demonstrar como a abordagem DFMA pode resultar em inovação e redução de custos para empresas. Para Tigre (2006) e Mascarenhas Bisneto e Lins (2016), a inovação atualmente é um dos assuntos mais mencionados nas mais diversas organizações. Esse cenário da busca pela excelência e inovação, principalmente no desenvolvimento de novos produtos, torna-se cada vez mais latente em diferentes ramos empresariais. Na mesma linha de raciocínio, é possível verificar que a busca pela inovação é intensa e real, sendo praticamente impossível sobreviver em um ambiente turbulento e competitivo sem o auxílio da inovação (BESSANT e TIDD, 2009; MASCARENHAS BISNETO e LINS, 2016).

A competitividade no âmbito organizacional, pode ser descrita como, a competência ou aptidão, a qual uma organização apresenta em realizar ou efetuar estratégias, que as possibilitem conservar ou até mesmo ampliar sua parcela no mercado (SANTOS, CÂNDIDO e SILVA, 2011). Manter e aumentar a competitividade de uma empresa, está diretamente ligada ao quanto a organização consegue inovar e implementar conhecimento científico; quanto maior for a quantidade de conhecimento, inovação e renovação tecnológica utilizada, maior será sua competitividade (MEDEIROS, 2016; PINHEIRO *et al.*, 2017).

A inovação é um bem necessário e imprescindível a qualquer organização, de qualquer porte e ramo de atividade. A inovação segundo Trott (2012), e Kasczuk (2017), é o estágio que precede a invenção, e para esses autores a inovação é a chave que “abre as portas” para relacionar as descobertas com o conhecimento de algo que já existe. Geralmente uma inovação proporciona melhorias numa invenção ou descoberta. Para que uma inovação seja colocada em prática com sucesso, é de suma importância que a mesma proporcione o retorno de investimento em relação ao investimento original. Além disso, a mesma tem a responsabilidade de gerar algum tipo de ganho adicional durante o seu desenvolvimento (BURGELMAN, CHRISTENSEN e WHEELWRIGHT, 2012).

Simultaneamente à competitividade e a inovação, outro fator que influência drasticamente no resultado de uma organização, é a otimização de custos. Geralmente uma empresa aprimora seus custos, a fim de exercer o controle e tomar decisões (MEGLIORINI, 2012). Num ambiente de competitividade abundante, a determinação de custos eficientes pode ser o diferencial que uma empresa necessita para atingir seus objetivos, pois assegura maior fluxo de caixa para investimentos. A gestão de custos atualmente tornou-se tão importante, que pode ser considerada uma base para montar uma estratégia industrial, ocupando assim uma cadeira cativa no contexto das decisões a serem tomadas. Normalmente a gestão de custos visa

desenvolver vantagens competitivas, além de ser o principal parâmetro para a tomada de decisões (BOOTHROYD, DEWHURST e KNIGHT, 2011).

No cenário econômico atual, as empresas necessitam estar sempre atualizadas e buscando melhorias nas mais diversas áreas e de diferentes maneiras. Por intermédio dessa necessidade, é impossível pensar em inovar uma organização sem a implementação de novos métodos e recursos. A renovação de ideias, produtos, processos e parques fabris passa muito pela necessidade de implementação de novas metodologias, que garantam plenamente o crescimento de uma instituição. Além disso, novos métodos podem promover a competitividade, inovação e otimização de custos a fim de manter-se bem postada no mercado a qual a mesma está inserida (PORÉM, BELLUZZO e SANTOS, 2012).

A não implementação de novos métodos de pesquisa pode acarretar em várias dificuldades e deficiências a uma instituição. Na visão de Parolin (2013) e Sarquis *et al.* (2015), sem procedimentos inovadores as empresas de diferentes segmentos perdem desempenho e competitividade, além de não conseguirem acompanhar o grande número de alterações devido a grande velocidade das modificações empresariais. Segundo Fioravanti (2005), o cenário em que vivemos tem motivado significativamente o aumento da velocidade das alterações industriais. Para o mesmo autor, essas mudanças tornaram-se essenciais a saúde e sobrevivência de uma organização e está presente em praticamente todos os setores industriais.

Para conseguir lidar com esse alto índice de alterações no contexto industrial, equilibrando as dimensões de inovação e de otimização de custos, de forma sistemática, estão sendo criados processos e métodos, por pesquisadores para que as instituições consigam acompanhar essa velocidade. Os métodos de desenvolvimento de produtos, os métodos *DFXs*, dentre outros, são alguns dos métodos que vem ganhando força e tendo grande desenvolvimento nesses últimos anos. Esse tipo de método, gera uma ótima contribuição para projetistas e engenheiros, para que eles possam desenvolver seus projetos, baseados em menores custos, menores tempos de manufatura, dentre tantos outros aspectos importantes que devem ser considerados na elaboração de novos produtos e processos (BRALLA, 1996; FAVI, GERMANI e MANDOLINI, 2016).

A eficiência operacional e a melhoria da produtividade são elementos que geram preocupações nas organizações. Esses dois passos aparecem constantemente nos estudos realizados pelas mais diversas empresas. Num primeiro momento as indústrias buscaram a melhoria de seus processos produtivos. Logo após isso, passaram a ir atrás da eficiência operacional, implementando diversos programas que possam garantir a qualidade e a

conformidade de seus produtos. Através disso, muita atenção acabou sendo direcionada aos processos ligados ao processo de projeto (BARBOSA, 2007).

Segundo Barbosa (2007), nessa fase de projeto começou-se a dar mais importância a elementos como: custos de manufatura, montagem, fabricação, quantidade de componentes, dentre outros. Para o mesmo autor, foi a partir desse momento que começaram a surgir metodologias e princípios de projetos, através das abordagens de *DFMA*, originada nos anos 70 no velho continente. Cujas a principal função dessa metodologia é simplificar o projeto do produto, reduzindo componentes, tempos de fabricação e montagem, a fim de reduzir os custos.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Esse estudo foi realizado em uma empresa do ramo metalúrgico situada em Carlos Barbosa, cidade pertencente a região da Serra Gaúcha. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia Estatística (IBGE), contém 28.091 habitantes e a localidade destaca-se por ter um alto índice de desenvolvimento. A empresa é pertencente a um grupo composto por 10 unidades fabris espalhadas pelo Brasil, as quais comercializam aproximadamente 18.000 itens, em mais de 120 países, contando com a colaboração de quase 8.000 funcionários.

Essa é a empresa do grupo responsável pela produção e comercialização de ferramentas e equipamentos para agricultura, construção civil e jardinagem. A unidade fabril conta com aproximadamente 850 colaboradores e atualmente é a terceira maior empresa do grupo tanto em faturamento, quanto em número de funcionários e área construída.

Em quase todas as unidades fabris pertencentes ao grupo, preza-se por tecnologia e inovação. A maior evidência disso é o fato que todas as fábricas possuem muitos profissionais qualificados, que trabalham continuamente em melhorias, automações e a evolução constante dos processos existentes na empresa.

Na planta da unidade em estudo, essa cultura segue a mesma linha de raciocínio, havendo internamente centros de engenharia, desenvolvimento de produtos, laboratórios, setores de manutenção e construção de equipamentos.

A abordagem proposta nessa dissertação, o *DFMA*, é pouco difundida na região da Serra Gaúcha, ambiente onde está inserido a organização em estudo. Essa afirmação pode ser constatada através das pesquisas realizadas durante esse trabalho, onde houve uma grande dificuldade em encontrar artigos científicos e trabalhos acadêmicos que contemplem esse assunto na região. Provavelmente, pode até haver alguma aplicação de princípios, mas não há dados publicados que o comprovem.

Com base no que foi mencionado o estudo apresentado busca contribuir para o crescimento e difusão do desenvolvimento de produtos e equipamentos na região da Serra Gaúcha. Utilizando como base o método *DFMA*, visto que, apesar das indústrias locais serem bastante desenvolvidas em relação ao restante do país, as mesmas ainda carecem de trabalhos realmente embasados no que se refere a desenvolvimento de produtos e processos.

Deste modo, esse estudo visou implementar o *DFMA* como instrumento de apoio a construção de equipamentos, já que essa é uma necessidade latente da empresa, para que a mesma possa produzir a seu vasto portfólio de produtos. A empresa conta uma estrutura interna, própria para construção desses equipamentos e ainda conta com um número significativo de engenheiros e técnicos de praticamente todas as áreas da engenharia.

Internamente a organização trata com muita importância o setor de construção de equipamentos, é através desse trabalho que a empresa consegue manter-se competitiva e a frente de seus principais concorrentes. Entretanto, como esse tipo de tarefa cresceu muito na empresa, criaram-se assim alguns gargalos e uma certa falta de organização. Muitos equipamentos são criados dentro da empresa, porém seus custos muitas vezes tornam-se muito elevados ou até imensuráveis.

Além disso, a motivação para a escolha desse assunto, foi a necessidade de aumentar a capacidade, organizar e acelerar a construção de equipamentos, a fim de tornar esse processo mais eficiente, diminuindo os elevados custos, os quais a empresa está submetida atualmente.

Por fim, a implementação do *DFMA*, visa promover avanços tecnológicos propiciando aumento de conhecimento interno na empresa, organizando e criando padrões pré-estabelecidos para a elaboração de novos equipamentos.

1.2 JUSTIFICATIVA

1.2.1 Justificativa teórica

Os conceitos *DFX's*, mais especificamente para esse estudo o *DFMA*, é amplamente utilizado em instituições como as organizações Pratt & Whitney e Volvo Aero, conforme apresentado nos trabalhos de Piombino (2010) e Santos (2012) respectivamente, sendo um mecanismo que visa simplificar projetos, manufatura e diminuir a quantidade de componentes. Contudo, esse tipo de técnica é normalmente aplicada apenas em famílias de produtos, como por exemplo, os trabalhos de Barbosa (2007) e Zavistanovicz e Walber (2014), que são respectivamente um trabalho de aplicação do *DFMA* na indústria de aeronaves, e um trabalho aplicado para a melhoria do processo de montagem de uma janela de ônibus urbano.

No presente trabalho, o desafio torna-se mais amplo, podendo até ser considerado inovador, dado que até o momento poucos trabalhos foram identificados na literatura, pois a sua pauta é implementar o conceito *DFMA* para o desenvolvimento de equipamentos. Entende-se equipamentos, como máquinas industriais para diversos processos e funções, isto é, são máquinas que produzem os produtos à serem comercializados pela empresa. Ou seja, ter um guia genérico e criar uma ferramenta que guie os projetistas a aplicar o *DFMA*, em diferentes tipos de situação. Isto é, o mecanismo ou guia deverá conseguir implementar o *Design for Manufacture and Assembly* em projetos simples ou complexos e ainda ser prático e de fácil utilização evitando assim a burocracia no processo.

Provavelmente essa aplicação de *DFMA* não será tão simples como aplicar o método em produtos específicos, no entanto essa é a ideia, ter um guia prático para empresas de baixa escala, um “facilitador de projetos” que não tornará o equipamento mais barato ou eficiente possível, mas trará uma boa estruturação para que possa desenvolver coisas diferentes em um bom nível de custos, tempo e organização. Além disso, em casos específicos onde o equipamento, ou seja, produto que se queira entregar for de uma escala um pouco maior pode se corrigir o mesmo aplicando o método em uma intensidade maior, através de vários procedimentos que serão demonstrados durante a revisão bibliográfica da literatura.

Como primeiro passo para o desenvolvimento do presente trabalho foi realizada uma sólida revisão bibliográfica dos assuntos relacionados aos objetivos e intenções desse estudo. Foram pesquisados conceitos e teorias existentes, as quais buscam compreender a constante busca pela melhoria, competitividade e evolução das organizações.

Nessa pesquisa foram realizadas buscas nas bases científicas, procurando textos e trabalhos que possuíam os termos “*DFMA*” e “*Design for Manufacturing and Assembly*”, que são respectivamente a sigla e o título do método exibido nesse estudo. Nas tabelas 1 e 2 estão apresentadas as publicações existentes sobre esse assunto no período de 2013 a 2018. Nelas estão contemplados apenas artigos e trabalhos das bases científicas, no entanto, esse estudo contou com outras fontes para sua realização como revistas, livros e sites.

Tabela 1 - Resultados Encontrados na Pesquisa “*DFMA*”

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Total
<i>Science Direct</i>	29	17	32	35	30	34	177
<i>Emerald Insight</i>	2	9	2	2	2	1	18
<i>Springer</i>	32	16	27	21	28	29	153
<i>Sage Journals</i>	1	1	2	2	6	7	19
<i>Scopus</i>	33	18	21	18	34	31	155
Total	97	61	84	78	100	102	522

Fonte: Elaborada pelo autor (2018).

Tabela 2 - Resultados Encontrados na Pesquisa “*Design for Manufacturing and Assembly*”

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Total
<i>Science Direct</i>	28	19	48	51	32	38	216
<i>Emerald Insight</i>	0	2	1	2	2	0	7
<i>Springer</i>	24	18	14	17	30	18	121
<i>Sage Journals</i>	0	0	0	2	1	3	6
<i>Scopus</i>	13	7	0	11	7	10	48
Total	65	46	63	83	72	69	398

Fonte: Elaborada pelo autor (2018).

Como procedimento para escolha de quais trabalhos seriam realmente utilizados durante o processo, foram estabelecidos dois critérios, sendo eles, a quantidade de vezes que os trabalhos foram citados por outros autores, e o ano em que foram publicados, sendo utilizado sempre que possível os mais atuais. Esse procedimento foi uma tentativa de garantir que os trabalhos fossem realmente bem embasados e ainda priorizar o que realmente existe de mais atual no assunto.

Ainda com relação à pesquisa realizada, buscou-se também artigos científicos e trabalhos que pudessem conter a aplicação do método *DFMA* de forma mais genérica, como por exemplo, na construção de equipamentos que é a pauta desse projeto. Por intermédio dessa tentativa de pesquisa, foi possível verificar que esse tipo de metodologia é muito utilizada para o desenvolvimento de produto. Entretanto, na forma mais abrangente e universal para aplicar

em empresas de pequena escala como sugere o presente estudo, poucos trabalhos são encontrados. Uma tentativa de explicar e comprovar isso talvez seja, que o *DFMA* realmente ocupa um certo tempo de projeto e implementação, e isso pode estar afastando a metodologia de empresas de pequena escala. Contudo, essa afirmação é um fator que motiva ainda mais o estudo para a aplicação e adequação do método para esse tipo de situação, a fim de mudar esse paradigma.

Os termos utilizados para essa pesquisa e a tabela 3 apresentam a quantidade de trabalhos encontrados sobre esse assunto:

- a) “*DFMA for Equipments*”;
- b) “*Design for Manufacture and Assembly for Equipments*”;
- c) “*DFMA for Industrial Machinery*”;
- d) “*Design for Manufacture and Assembly for Industrial Machinery*”;
- e) “*DFMA for the Development for Machines*”;
- f) “*Design for Manufacture and Assembly for the Development for Machines*”;
- g) “*DFMA and equipments*”;
- h) “*DFMA and machines*”.

Tabela 3 - Resultados Encontrados na Pesquisa “*DFMA for equipments*”

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Total
<i>Science Direct</i>	0	0	1	0	0	0	1
<i>Emerald Insight</i>	0	0	0	0	0	0	0
<i>Springer</i>	0	0	0	0	0	0	0
<i>Sage Journals</i>	0	0	0	0	0	0	0
<i>Scopus</i>	0	0	0	0	0	0	0
Total	0	0	1	0	0	0	1

Fonte: Elaborada pelo autor (2018).

As pesquisas realizadas, além de ter a função de procurar o que há de mais atual com relação ao *DFMA*, também visam ser uma base para que as organizações construam seus próprios conhecimentos e considerações que auxiliem na construção do seu próprio modelo de implementação do *DFMA*.

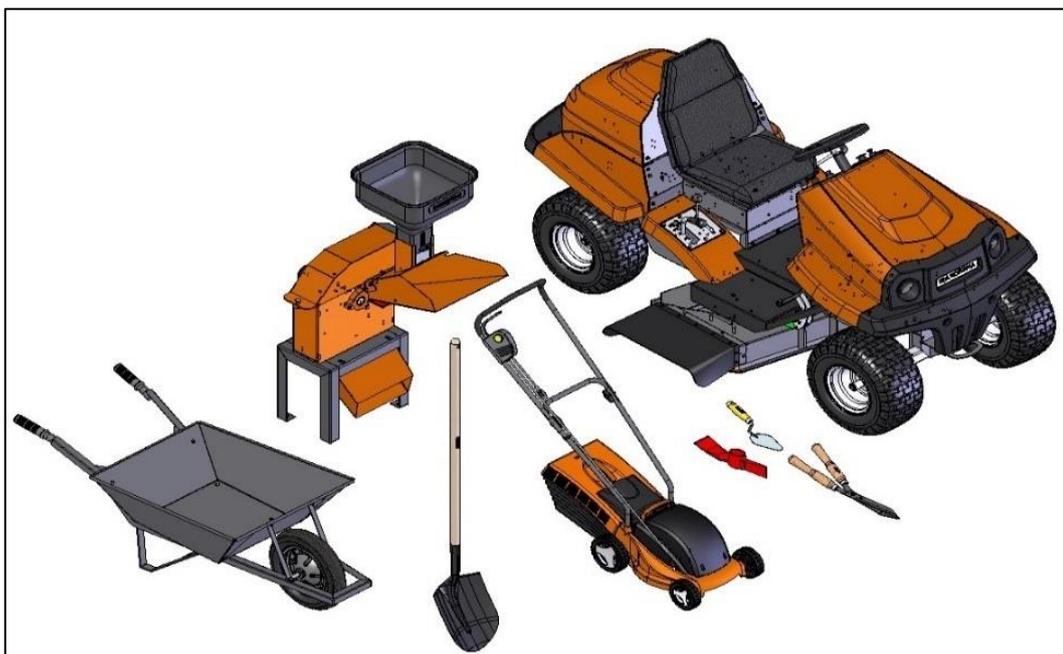
As organizações em geral buscam através de variados procedimentos serem cada vez mais competitivas nos seus ramos de atuação, uma das funções das pesquisas apresentadas, é justamente isso, auxiliar as organizações no ambiente de competição, entregando a elas vantagens que possam fazer com que elas se sobressaiam aos seus concorrentes.

Segundo Mello (2008), a vantagem competitiva ilustra o perfil de competência de uma organização em comparação aos seus principais concorrentes. Essa vantagem ainda representa a tecnologia existente e utilizada dentro da instituição, bem como os meios que as empresas empregam para enfrentar seus concorrentes. A noção de estratégia surgiu através das guerras, ela nada mais é que uma sequência de passos para conduzir batalhas com o intuito de vencer uma guerra (MINTZBERG, AHLSTRAND e LAMPEL, 2000). Relacionando as estratégias de guerras ou a sequência de passos para conduzir uma guerra, conforme relata Mintzberg, Ahlstrand e Lampel (2000), com o *design* é possível dizer que independente da atividade, um método ou estratégia para organização das tarefas a serem realizadas é de suma importância para o bom andamento delas. É visando essa organização que o presente trabalho vai ao encontro de estratégias e métodos que cooperem com o *design*, e ainda facilitem e auxiliem os *designers*. A realidade atual atribui ao *design* muito mais que apenas um *design* em si, funções técnicas referentes a todo o processo de produção foram atribuídas a ele. Nos dias atuais o *design* passou a ter muito mais importância em questões como; inovação tecnológica e implicações econômicas. Esse processo passou a fazer parte da estratégia empresarial, isto é, o *design* passou a ser um transformador e um transmissor de conhecimento, o qual tem a atribuição de levar ao cliente um produto mais adequado e inovador (TEIXEIRA, 2005).

1.2.2 Justificativa prática

A organização foi fundada no ano de 1981, e atualmente conta com aproximadamente 850 colaboradores, tendo uma área total construída de 85.754m². Atualmente, a mesma produz e comercializa ferramentas e equipamentos para agricultura, jardinagem e construção civil. Sendo oferecido aos seus clientes uma gama com mais de 1500 produtos, destacando-se dentre eles, as mangueiras para irrigação de jardins, carrinhos de mão, pás, enxadas, picaretas e uma linha completa de cortadores e aparadores de grama. Na figura 1, estão dispostos de forma resumida alguns de seus produtos.

Figura 1 - Principais produtos produzidos pela organização.



Fonte: Acervo de imagens da empresa (2018).

Por intermédio desse elevado número de produtos aliados a grande diversidade de processos necessários para produzi-los, a empresa busca tradicionalmente metodologias e conceitos que possam suportar e auxiliá-la como um todo. Dentre todas essas metodologias e ainda com o intuito de fortalecer a marca, destacam-se o Sistema de Gestão de Qualidade ISO 9001, implementado em 2004, a implantação da ISO14001:2004 aceita no ano de 2011 e a certificação da OHSAS 18000 conseguida no ano de 2015.

A maior virtude do presente estudo para a instituição consiste na necessidade de criar e aplicar metodologias que auxiliem o desenvolvimento interno de tecnologias, visto que, é um costume da empresa criar internamente seus equipamentos, a fim de subsidiar suas próprias tecnologias diferenciando-se dos concorrentes. Atualmente a empresa por necessitar de uma grande variedade de equipamentos especiais, constrói por si mesma uma grande parcela desses equipamentos, promovendo um certo “conhecimento próprio”.

Além disso, nos dias de hoje é de suma importância que as indústrias busquem uma renovação de seus processos, para obtenção de melhores resultados e consequentemente adquirir vantagens sobre seus principais concorrentes. A busca por essa renovação e atualização é realizada de forma prioritária dentro da instituição.

É através dessa prioridade e importância dada pela empresa, que o presente trabalho tem como foco apresentar uma ferramenta que possa auxiliar a engenharia e o departamento técnico, na decisão e execução de diversos projetos realizados internamente pela empresa.

Para isso, a empresa já faz uso de um *software* desenvolvido internamente para gestão e elaboração de projetos, esse artefato é responsável, por todo e qualquer projeto existente na empresa, desde os mais complexos, até os mais simples. Nesse programa, estão descritas rotinas e tarefas a serem seguidas pelos responsáveis e executores das mais diversas áreas da engenharia como: projetos ambientais, civis, elétricos, eletrônicos, de produtos e mecânicos.

No presente estudo, o foco foram basicamente os projetos mecânicos, ou seja, a parte da engenharia da empresa que cuida especificamente de processos e equipamentos que devem ser construídos para atender as demandas de produção de produtos. A grande variedade de itens produzidos na empresa é quem motiva esse estudo, em alguns casos o número de componentes de um equipamento pode passar de 7.000 componentes.

Devido a essa quantidade significativa de componentes, um dos grandes problemas da empresa é gerenciar corretamente custos, fabricação e montagem de todos os itens. Através desse estudo, busca-se analisar como são tomadas as decisões durante a realização de um novo projeto de equipamentos na empresa, e com isso tentar propor uma ferramenta que auxilie nessas decisões, baseadas em um estudo através de algum tipo de *design for X*, os quais terão a função de padronizar processos, peças e montagens, a fim de diminuir custos e acelerar a conclusão de cada um dos novos projetos.

As abordagens *Design for X* ou *Design for Excellence*, são elementos de auxílio a projetistas e engenheiros, e normalmente são empregadas com muito sucesso na indústria em geral e até mesmo na construção civil. Trabalhos como Barbosa (2007), Malewschik (2016) e Favi, Germani e Mandolini (2016), e são alguns exemplos de estudos realizados tanto na indústria como na construção civil. Onde o trabalho de Malewschik (2016), apresenta um estudo de aplicação do *DFMA*, juntamente com o *BIM (Building Information Modeling)*, a fim de aumentar a produtividade, diminuir custos e número de componentes em construções civis. Já os procedimentos de estudo realizados por Favi, Germani e Mandolini (2016) e Barbosa (2007) apresentam trabalhos voltados ao ambiente industrial, os quais aplicaram o método na indústria de máquinas operatrizes e indústria aeronáutica respectivamente, tendo enormes ganhos em seus processos, além de entregar as empresas a possibilidade de alterar e aumentar sua gama de produtos com extrema facilidade e baixo custo.

Dessa forma, esse estudo também visa entregar a empresa uma ferramenta que possa obter melhorias, no processo de construção de equipamentos. Assim como os trabalhos mencionados, organizando e evitando desperdícios no processo de criação de novos equipamentos, diminuindo o número de peças e modularizando os componentes, a fim de diminuir custos e possibilitar novas e rápidas soluções para trabalhos futuros.

Além disso, o estudo visa também organizar e evitar desperdícios de tempo, manufatura e montagem na empresa. Como já foi mencionado, um grande número de componentes é criado na empresa através dos projetistas. No entanto, esses componentes muitas vezes realizam as mesmas funções ou funções parecidas, mas como são criados sem muito critério e por diferentes projetistas, muitas vezes acabam se desenvolvendo novos componentes sem que exista uma real necessidade, aumentando assim, a complexidade dos projetos como um todo. Um componente novo representa uma série de processos para serem construídos, e cada componente novo leva consigo uma cadeia de atividades para produzi-los e agrega uma série de custos a mais para empresa transformando-se assim em grandes desperdícios.

Através da aplicação do método *DFMA*, tentará se obter diminuição de componentes, modularização de projetos, dentre outros tantos benefícios do *DFMA*, o que poderá trazer uma significativa redução de custos, apresentada ao longo do trabalho. A implementação desse novo método, tem como maior importância impregnar o *DFMA*, como cultura para os projetistas, através desse método novos componentes só serão criados se realmente for necessário e cada um deles vai tentar realizar mais de uma função e ser utilizado de maneira *standard* em vários equipamentos diferentes.

O presente trabalho, e aplicação dessa metodologia será realizado no setor de engenharia da empresa, setor onde são desenvolvidos praticamente todos os estudos técnicos, voltados a produtos e equipamentos da empresa. Esse setor é composto por profissionais de quase todas as principais áreas da engenharia, como: desenhistas, projetistas, programadores, engenheiros mecânicos, elétricos, materiais, químicos e civis.

Esse setor da empresa ainda conta com ferramentas e *softwares CAD, CAE, CAM*, objetos de pesquisa, dados e informações técnicas escolhidas ao longo do tempo, e ainda possui um amplo laboratório de ensaios que porventura possa vir a auxiliar durante o desenvolvimento do trabalho.

1.3 QUESTÃO DE PESQUISA

Tendo em vista a situação, apresentada, a questão de pesquisa é: *Como o método DFMA pode auxiliar o desenvolvimento de projetos e construção de equipamentos em indústrias de pequena escala?*

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo geral

Desenvolver um guia que auxilie na implementação do conceito *DFMA* no desenvolvimento de projetos, otimizando o processo de construção de equipamentos na empresa.

1.4.2 Objetivos específicos

- a) avaliar processo atual de construção de equipamentos, e as famílias de equipamentos adotadas;
- b) estudar método que auxilie e imponha pré-requisitos que devam ser contemplados durante a concepção de projetos de equipamentos;
- c) criar lista de pré-requisitos e critérios necessários para desenvolver projetos de fácil e manufatura e montagem, a fim de acelerar o processo de fabricação de equipamentos;
- d) desenvolver critérios que contemplem a diminuição do número de peças, modularização de componentes, redução de custos etc.;
- e) propor processo de construção de equipamentos com a aplicação do *DFMA* em suas fases;
- f) identificar os requisitos de construção de equipamentos com a aplicação do *DFMA* para o desenvolvimento de um *workflow*, contemplando bibliotecas de objetos e indicadores de acompanhamento;
- g) realizar dois testes da metodologia, contendo um equipamento de baixa complexidade e outro de alta complexidade, avaliando e apresentando os resultados obtidos.

1.5 DELIMITAÇÕES DO ESTUDO

O ambiente de estudo, conforme já mencionado no item 1.1, foi uma metalúrgica da Serra Gaúcha, que comercializa produtos e ferramentas para construção civil, agricultura e jardinagem. O trabalho, basicamente ocorreu no setor de engenharia, mais precisamente na

divisão da engenharia responsável pelo desenvolvimento máquinas, automações e equipamentos.

A metodologia foi aplicada em duas famílias de equipamentos existentes na empresa, onde um deles é considerado um equipamento de alta complexidade e o outro considerado um equipamento de baixa complexidade pela organização. Esse procedimento de escolha, de um equipamento de alta e outro de baixa complexidade, foi utilizado, pois a intenção era testar a aplicação do método em mais de um nível de complexidade, e com uma intensidade de aplicação mais baixa do que em aplicações específicas, como a simplificação ou desenvolvimento de um produto vendável, por exemplo.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O presente capítulo apresenta uma consistente revisão bibliográfica dos assuntos relacionados aos objetivos e intensões desse trabalho. Por meio deste capítulo serão pesquisados, revisados e analisados conceitos e teorias existentes, as quais buscam compreender a constante procura pela melhoria, competitividade e evolução das organizações. Além disso, nessa fase do trabalho, são apresentados os principais conceitos do processo de desenvolvimento de produto (PDP) e ainda quais as contribuições que a teoria “*DFX*” (*Design for “X”*), pode trazer no desenvolvimento de equipamentos gerenciando e otimizando os processos de manufatura e montagem de equipamentos.

2.1 DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS

O desenvolvimento de produtos pode ser empregado de diversas maneiras e níveis dependendo do tamanho e conhecimento de cada organização, e seus fundamentos são aplicados ao desenvolvimento de equipamentos para o cliente interno. Empresas de porte médio e pequeno não precisam ser pioneiras em seus produtos, geralmente isso não é o principal fator de sucesso nesses casos (SILVA e ALLIPRANDINI, 2001). Segundo o autor abordagens pontuais como estudos de manufaturabilidade, montabilidade dentre outros podem ser a principal fórmula para a organização ser competitiva.

Segundo Mello (2008) e Ulrich e Eppinger (2015), pode-se definir produto como, qualquer coisa que possa ser vendida como um negócio a fim de satisfazer clientes. Para os mesmos autores, esse produto pode ser criado e desenvolvido por meio de uma série de atividades, iniciando com uma necessidade de mercado e terminando em um ambiente produtivo e um posto de venda.

Neste sentido, o PDP é um processo de extrema importância na definição e desenvolvimento de novos produtos, contudo no cenário nacional esse procedimento é muitas vezes negligenciado pelas empresas principalmente as consideradas de pequeno e médio porte (CHRISTOVAM, 2017). Para Mano e Toledo (2011), tem a mesma visão de Christovam (2017), e ainda acrescentam que no Brasil existe uma falta de visão e planejamento estratégico, iniciando assim muitos projetos de produto de maneira informal e sem muita fundamentação teórica.

Para Kaminski (2000), uma das maneiras de fundamentar e tornar formal os projetos de produtos é através do PDP. O processo de desenvolvimento de um produto segundo esse autor é empregado como um conjunto de tarefas, utilizando quase todas as áreas de uma empresa, e o foco principal é transformar as necessidades do mercado e dos clientes em produtos viáveis para a comercialização.

Sendo assim, desenvolver produtos pode ser compreendido como, um conjunto de atividades, que visam a partir das necessidades do mercado ou de clientes internos e das restrições tecnológicas da empresa, especificar um produto e seu processo produtivo, para que o mesmo possa ser produzido pela manufatura existente em uma determinada organização (ROZENFELD *et al.*, 2006).

Nos estágios iniciais de desenvolvimento de produtos, geralmente é feito um planejamento, no qual estão incluídas análises como, tendências e pesquisas de mercado. Através desses estudos começam a ser criados afunilamentos, criando assim as primeiras diretrizes e especificações para o projeto do produto. Nesse momento do projeto, é muito importante que várias áreas da empresa estejam incluídas, pois produtos com um bom desenvolvimento inicial possuem três vezes mais chance de dar certo (BAXTER, 1998).

Conforme Pahl *et al.* (2005), um produto só pode atingir o êxito, se o mesmo satisfizer três condições, que podem ser consideradas básicas para qualquer produto, sendo elas:

- a) Atendimento dos requisitos dos clientes;
- b) Estar no mercado na hora certa ou *time-to-market*;
- c) Obter preços acessíveis e adequados ao mercado.

Em linhas gerais o PDP em uma organização é, basicamente, projetar ou desenvolver um produto, no entanto esse processo envolve impreterivelmente fatores econômicos, financeiros, pessoais, ambientais e tecnológicos, (FIORAVANTI, 2005). Para Erixon (1998), o desenvolvimento de produto deve ser considerado como uma cadeia interdisciplinar com inúmeras tarefas dentro de uma organização e que tem como principal foco desenvolver, desenhar e entregar novos produtos que possibilitem atender o mercado. Ainda segundo Erixon (1998), o *design* deve ser não apenas um subconjunto de todo o desenvolvimento presente em um novo produto, essa tarefa de *design* deve ser o líder do estudo e abranger além do desenho do produto, desenhos industriais necessários para a produção do mesmo.

Há várias formas de se desenvolver produtos e atender os requisitos mencionados. Uma forma bastante usual de desenvolver produtos é através dos métodos *DFX*. Normalmente para aplicar conceitos como os métodos *DFX* é necessário muito estudo e dedicação em cima

do produto, o qual deseja-se aplicá-lo. Segundo Barbosa (2007) e Favi, Germani e Mandolini, (2016), a aplicação desse método geralmente vem associada a uma outra abordagem mais usual, como por exemplo a Engenharia Simultânea.

Através desse tipo de abordagem os projetistas, engenheiros e estudiosos concentram em seus estudos vários fatores, não apenas o *DFX*, mas também aspectos variados que são necessários para um bom desenvolvimento de um produto.

Existem inúmeros modelos que podem ser aplicados no processo de desenvolvimento de produtos, no ambiente industrial geralmente ele é definido por cinco atividades sendo elas: desenvolvimento da ideia do produto, estabelecimento da ideia do produto, projeto do detalhe do produto, teste do protótipo e por fim o lançamento (SUHARYANTI *et al.*, 2015).

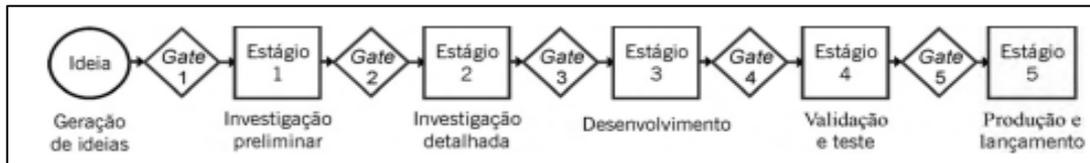
Dentre os modelos mais famosos de desenvolvimento de produto destaca-se o modelo de *stage-gates*, método que surgiu originalmente na NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), sendo posteriormente espalhado ao mundo por Cooper na década de 90. Essa abordagem basicamente divide o PDP em quatro ou cinco estágios, e cada um deles leva consigo a função de buscar informações para que o projeto possa avançar para um próximo estágio. Antes da troca de cada estágio aparece o chamado “*gate*”, que serve como ponto de tomada de decisões, verificações e controle de qualidade, geralmente um *gate* é orientado por um comitê de projetos ou um gerente (COOPER, 1993).

Para Cooper (1993), os estágios que compõem o desenvolvimento de produtos são:

- a) Investigação preliminar: Nesse momento ocorre uma verificação e investicação preliminar onde é formado o escopo do projeto;
- b) Investigação detalhada: Momento onde é realizada uma investigação profunda, que visa dirigir o trabalho técnico e comercial, além de desenvolver um plano de negócios, incluindo uma justificativa e um plano de projeto;
- c) Desenvolvimento: Estágio onde é criado o produto em si, bem como suas especificações, processos de produção e controle;
- d) Validação e testes: Ocasão onde as avaliações técnicas e comerciais são realizadas, com o intuito de aprovar tecnicamente e comercialmente o novo produto;
- e) Lançamento: Período que compõe o início da produção, propaganda e distribuição do produto.

Na figura 2, pode-se ver a representação genérica do método *stage-gates*.

Figura 2 - Representação do modelo *stage-gates*

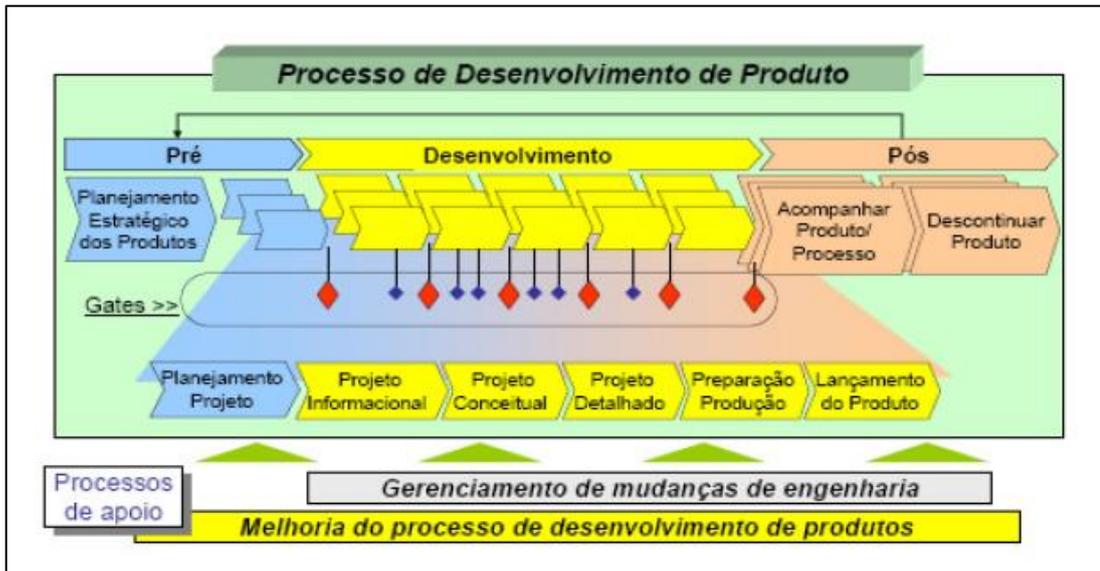


Fonte: Cooper (1993).

Já para Rozenfeld *et al.* (2006), o projeto de desenvolvimento de produto, teve seu escopo expandido por diversos autores e de diferentes formas, nessa expansão estão inclusas tarefas iniciais como planejamento estratégico e ainda atividades relacionadas ao controle de produção, bem como o controle de descontinuidade do produto. Esse autor ainda sugere que o PDP seja dividido em três etapas conhecidas como:

- a) Primeira fase: Pré-desenvolvimento, é a fase que compreende o planejamento do produto, nesse momento é definido como deve ser o produto, ou seja, elabora-se aqui um escopo do que será desenvolvido. Nessa fase estão presentes as avaliações de risco do projeto, viabilidade e avaliação econômica e, ainda são definidos indicadores, que tem a função de acompanhar e policiar o projeto;
- b) Segunda fase: Desenvolvimento, é a etapa onde existe a maior quantidade de tarefas necessárias para o andamento do projeto, conforme Rozenfeld *et al.* (2006), ela pode ser separada em quatro principais partes. A primeira parte é o Projeto Informacional, ou seja, etapa onde são colhidas informações do cliente para depois interpretá-las. Na segunda etapa aparece o Projeto Conceitual, nessa parte são utilizadas as informações colhidas durante a etapa anterior formando assim uma proposta de conceito para o produto. A terceira parte do desenvolvimento é constituído o Projeto Preliminar, que é onde ocorre o dimensionamento e seleção de materiais, formas e processos de fabricação baseados no conceito, estrutura e funções do produto. Por fim, como última parte do desenvolvimento aparece o Projeto Detalhado, etapa final onde ocorre o detalhamento. Nesse momento são lançados à produção, informações referentes a forma, dimensões, tolerâncias dentre outras informações necessárias para produzir e lançar o produto no mercado.
- c) Terceira e última fase: Aqui segundo o autor deve ocorrer um planejamento para acompanhar e determinar quando deverá ser retirado o produto do mercado. Nessa fase também ocorrem todas as alterações e melhorias durante a vida do produto e ainda é gerado uma grande quantidade de conhecimento, o qual deve ser guardado e aproveitado na estruturação de novos produtos. Por fim, quando o produto atingiu as metas estabelecidas durante o PDP, inicia-se o processo de retirada do mercado tomando todas as providências ambientais e de descarte.

Figura 3 - Representação das Etapas de Desenvolvimento de Produtos



Fonte: Rozenfeld *et al.* (2006).

2.2 DESIGN FOR "X" (DFX)

Conforme Huang (2012), o ambiente ideal para criação e desenvolvimento de produtos pode ser chamado de engenharia simultânea, também conhecido na língua inglesa como *Concurrent Engineering (CE)*. Segundo relatos desse mesmo autor, a engenharia simultânea preza por objetivos como redução de custos, melhoria da qualidade, diminuição de tempos de ciclo, busca por uma maior produtividade e aumento da eficiência.

É de suma importância para a implementação da engenharia simultânea que os trabalhos sejam desenvolvidos em equipe e prezem pela corporação. Para atingir os objetivos mencionados no parágrafo anterior, deve existir uma boa integração entre as funções disciplinares da organização, para que todos ou a maioria dos problemas de desenvolvimento de produto sejam considerados. Pode-se implementar a Engenharia Simultânea de diversas maneiras, uma das maneiras mais usuais e eficaz de implementá-la é através da utilização da abordagem *DFX* ou *Design for X* (HUANG, 2012).

Atualmente as empresas devem ter uma boa variedade de produtos, com um baixo custo e um ciclo de vida curto. Existem várias formas de se chegar a esses objetivos, principalmente a redução de custos. Segundo More *et al.* (2015), a maioria das companhias utiliza ferramentas tradicionais de corte de custos. No entanto, segundo o mesmo autor a maioria dos custos de um produto já é criado e bloqueado no início, isto é, o custo é determinado no período de projeto e *design*.

O *DFMA*, abordagem que faz parte de um conceito maior o *DFX* é um método que pode justamente auxiliar no desenvolvimento de produtos com baixo custo, de fácil manufatura e com um baixo ciclo de vida, o *DFMA* atualmente é utilizado nas indústrias automotiva, médica, telefônica, dentre outras. Na figura 4, está representada uma comparação entre os processos de desenvolvimento de produtos com uma aplicação mais rotineira sem a aplicação do *DFMA*, e outra aplicação com a utilização do método, conforme sugere (MORE *et al.*, 2015).

Figura 4 - Representação do PDP com e sem o *DFMA*



Fonte: More *et al* (2015).

Tradicionalmente uma visão errônea é atribuída ao desenvolvimento de produtos, dado que muitas pessoas imaginam que desenvolvedores de produtos são normalmente engenheiros e cientistas em laboratórios ou escritórios munidos das tecnologias mais avançadas, tentando desenvolver produtos, que possam ser aclamados por clientes. De fato, para autores como Arnette; Brewer; Choal (2014) e Sassanelli *et al.* (2016), declaram que esse tempo existiu em algum momento da história, e no entanto atualmente o desenvolvimento de produto necessita metodologias muito mais objetivas, que possam assegurar que os produtos realmente atendam as imposições dos clientes.

Ainda em conformidade com os autores do parágrafo anterior, a metodologia *DFX*, é um desses métodos objetivos e pragmáticos que auxiliam de maneira eficiente o PDP. Essa metodologia surgiu por volta dos anos 80 e iniciou através de uma abordagem do *DFA* ou *Design for Assembly*, utilizada por BOOTHROYD, DEWHURST e KNIGHT, (2011). Nesse trabalho, foram estudadas características essenciais para realizar da melhor forma possível a montagem de produtos, aplicando uma série de restrições e requisitos que pudessem facilitar e tornar o processo de montagem mais eficiente. A partir desse trabalho iniciou-se uma “corrida” para desenvolvimento de produtos, onde começou-se a considerar diversos outros aspectos,

originando assim o *DFX*, isto é, *Design for “X”*, sendo *X*, uma variável, que representa o objetivo principal do desenvolvimento. Como por exemplo: *Design for Manufacture*, *Design for Quality*, *Design for Environment*, dentre outros.

Alguns dos principais temas que são utilizados no *DFX* são: (BOOTHROYD, DEWHURST e KNIGHT, 2011; HUANG, 2012; MORE *et al.*, 2015).

- a) *Design for Assembly (DFA)*;
- b) *Design for Manufacturing (DFM)*;
- c) *Design for Manufacturing and Assembly (DFMA)*;
- d) *Design for Disassembly (DFD)*;
- e) *Design for Quality (DFQ)*;
- f) *Design for Cost (DFC)*;
- g) *Design for Environment (DFE)*;

2.3 DESIGN FOR MANUFACTURING AND ASSEMBLY (DFMA)

2.3.1 História do *Design for Manufacturing and Assembly*

Dentre todas as abordagens existentes no *DFX* e apresentadas no item 2.2, o presente trabalho terá como foco o *DFMA*.

A história do *DFMA* inicia-se através de uma união entre o conceito *DFM* (*Design for Manufacturing*) e o conceito *DFA* (*Design for Assembly*) (FAVI, GERMANI e MANDOLINI, 2016).

O primeiro, o *DFM* é muito antigo, tendo relatos de sua primeira utilização no ano de 1788, pelo francês Le Blanc, que o utilizou para controlar rigidamente as tolerâncias necessárias para a produção em massa de mosquetes, para o governo dos EUA. Posteriormente a esse episódio, o *DFM* foi aplicado por Eli Whitney no final XIX para a fabricação de armas. Outro grande mentor do método *DFM* foi Henry Ford aplicando-o na indústria automobilística (BRALLA, 1996; BARBOSA, 2012; MALEWSCHIK, 2016).

Já o segundo conceito formador do *DFMA*, o *DFA* é um pouco mais recente, sendo desenvolvido no início da década de 80 pelos estudiosos Geoffrey Boothroyd e Peter Dewhurst, o qual tinha o objetivo de facilitar e medir a complexidade de uma montagem e ainda tornar essa medição quantitativa para que uma montagem fosse analisada (FAVI, GERMANI e MANDOLINI, 2016; MALEWSCHIK, 2016).

Apesar de muitos estudiosos terem participado da evolução do *DFMA*, o mais famoso foi Geoffrey Boothroyd, juntamente com seu companheiro Peter Dewhurst. Esses dois autores juntos desenvolveram e aplicaram o *DFA* literalmente, com os trabalhos e estudos realizados por eles foi possível notar uma enorme redução de custos e simplificação dos produtos projetados, através da metodologia *DFM*. Foi nesse momento que surgiu o *DFMA*, que nada mais é que uma junção das duas abordagens. No cenário atual, esse conceito já foi expandido significativamente evoluindo para o *Design for Excellence (DFX)*, que é uma metodologia que abrange muitas áreas como: *Design for Low Cost*, *Design for Quality*, *Design for Environment*, etc. (BARBOSA, 2007; BOOTHROYD, DEWHURST e KNIGHT, 2011).

2.3.2 Definição do *Design for Manufacturing and Assembly*

O termo inglês “*Manufacturing*” ou fabricação em português pode ser caracterizado como um conjunto de procedimentos que transformam matéria prima em produtos, para determinados clientes. Normalmente os processos de fabricação devem ser escolhidos durante a conceituação de um produto, isto significa, que é muito importante um *designer* ter conhecimento técnico sobre o assunto. Sempre que for escolhido um processo de fabricação é de suma importância, optar pelo processo que tenha o menor custo possível e atenda aos requisitos de qualidade e funcionalidade, e daí vem a importância dos conceitos *DFM* e *DFA* (SANTOS, 2012).

O *DFM* tem como significado desenhar para que se tenha a fabricação facilitada, juntando-se com o termo *DFA* que significa desenhar algo que possa facilmente ser montado, forma-se o *DFMA* que contempla os dois objetivos e é uma forma sistemática que visa quantificar e analisar o projeto de um determinado produto (MORE *et al.*, 2015).

Segundo Barbosa (2012), o *DFM* tem por objetivo fomentar produtos que tenham condições e requisitos de funcionalidade facilitando a fabricação dos produtos, simplificando processos e reduzindo custos. O autor expõe que essa metodologia é constituída por diversos conceitos e recomendações que possibilitam levar o desenhista para a criação de um produto melhor do ponto de vista da manufatura.

O *DFA* tem como premissa simplificar a etapa de montagem, buscando a redução no número de componentes, diminuindo assim o tempo de montagem estudando o material, função, forma e montagem buscando entregar um produto simples e objetivo (BARBOSA, 2012).

No trabalho apresentado por Bralla (1996), e em concordância com Malewschik (2016), no *DFM* existem dois principais conceitos:

- a) O *DFM* em uma maneira mais abrangente é qualquer procedimento, método ou abordagem que objetive a criação de um produto com menor custo e que possa ser fabricado de maneira mais simples;
- b) De forma mais pontual os autores definiram *DFM* como uma metodologia munida de princípios, regras e sugestões que permitem a criação de um produto mais simples de ser produzido.

Segundo Bayoumi (2000), o objetivo do *DFMA* é desenvolver produtos contemplando a preocupação com a manufatura, buscando entregar projetos de produto que tenham um menor custo, menor tempo de fabricação, maior confiabilidade e qualidade entregando ao mercado um produto competitivo e que atenda às necessidades do cliente. Já Huang (2012) relata que o *DFMA* é uma abordagem que as empresas utilizam para criar seus produtos com simplicidade e com o menor número de componentes possíveis facilitando a fabricação e montagem. Ainda segundo Huang (2012), esse método não é um sistema de desenho, no entanto ajuda muito na tomada de decisões nos passos iniciais de um projeto e ainda ajuda a quantificá-lo.

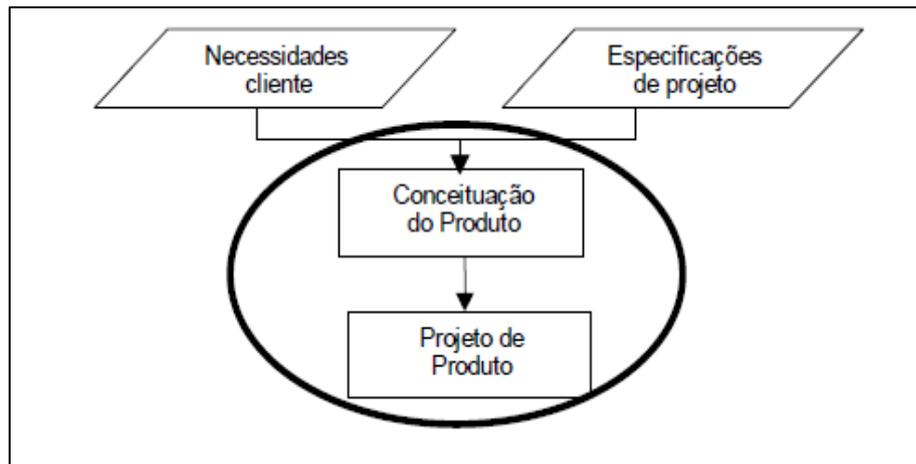
O *DFMA* também pode ser definido como uma ferramenta auxiliar para o desenvolvimento e análise de produtos, tanto na área de *design* quanto na área de fabricação. Esse método apresenta funções essenciais que visam auxiliar o custo e desenvolvimento antes, durante e após a concepção e fabricação de um produto. O *design* incorreto ou ineficiente transmite ao produto inúmeros custos adicionais na manufatura e montagem de um produto (BOOTHROYD, DEWHURST e KNIGHT, 2011; NAIJU, WARRIER e JAYAKRISHNAN, 2017).

Para Boothroyd, Dewhurst e Knight (2011) e Malewschik (2012), o *DFMA* é um método que visa simplificar o projeto de um produto, acelerar o processo de montagem, reduzir o número de componentes, reduzir custos, além de auxiliar áreas de produção, manutenção e construção.

E para Finotti *et al.* (1999), as características e necessidades do consumidor são elementos de extrema importância na fase de concepção de um produto. Essas informações muitas vezes podem significar o sucesso ou insucesso do produto, através delas pode se chegar tanto a melhores especificações de manufatura (montagem, qualidade, custos, manutenção etc.), quanto para melhores condições de pagamento.

Conforme Finotti et al. (1999), uma das metodologias mais utilizadas para que se atinja o sucesso dos produtos é o *DFMA*. Com ela é possível determinar e colocar premissas e características de redução de custos de fabricação e montagem nas fases iniciais de um projeto, onde geralmente os custos modificações ainda são extremamente baixos. Na figura 5 está representado as fases onde o *DFMA* geralmente é aplicado.

Figura 5 - Representação das fases onde o *DFMA* é aplicado

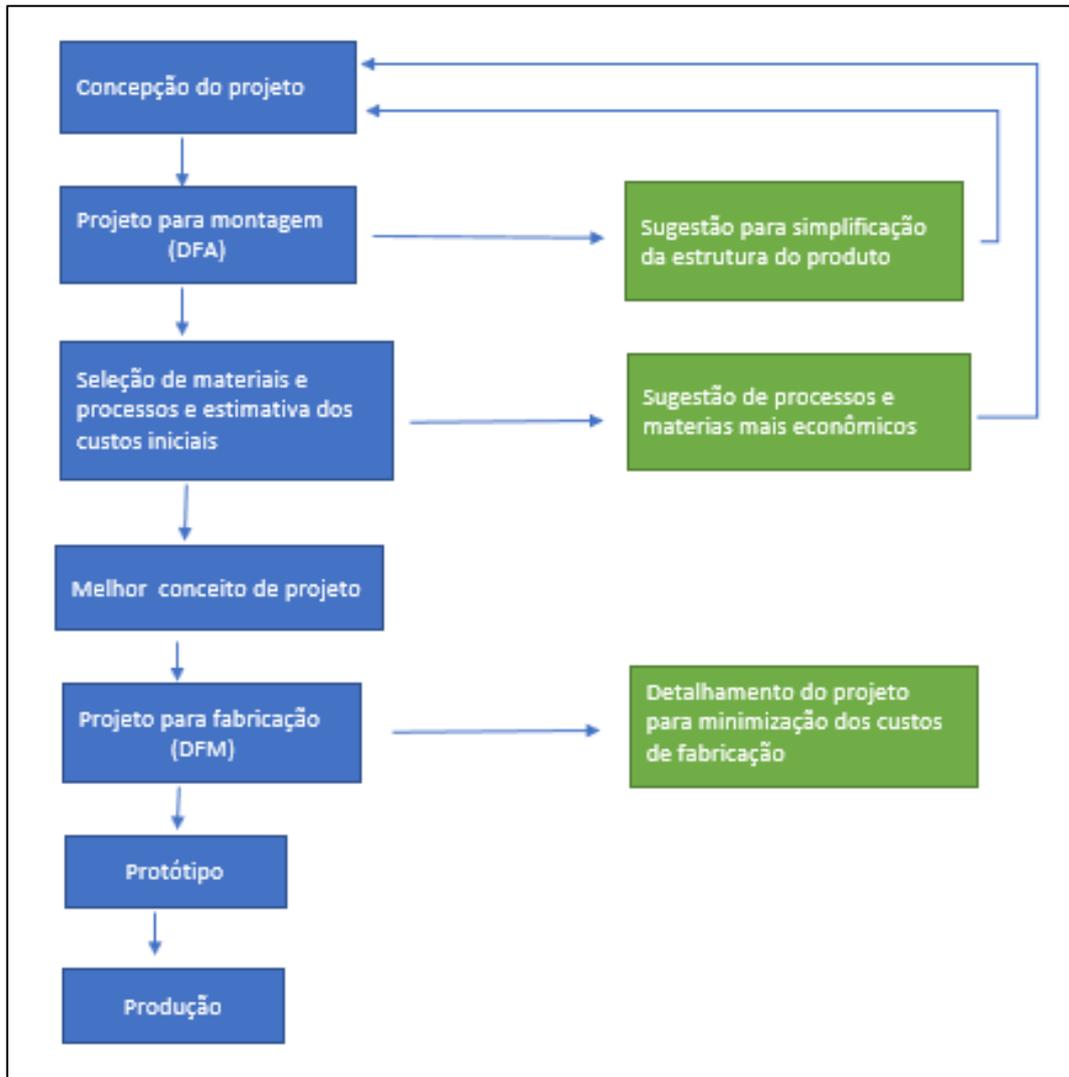


Fonte: Finotti *et al* (1999).

Os autores Boothroyd, Dewhurst e Knight (2011) e Barbosa (2012), também afirmam que o *DFMA* deve-se ser aplicado com maior ênfase nas fases iniciais de concepção do projeto. Entretanto, esses autores, além de reforçarem os baixos custos nas fases de conceituação, asseguram que nesses momentos é possível ter um tempo menor de projeto disponibilizando rapidamente o produto ao cliente. Para eles, em fases mais avançadas com o produto já desenvolvido torna-se muito difícil a implementação da metodologia, aumentando significativamente a demanda de trabalho e consequentemente os custos.

A figura 6 apresenta a localização do *DFMA* dentro das fases, colocando-o nas fases conceituais com a intenção de reduzir custo e tempo de estudo. Na mesma figura é possível ainda visualizar que após a aplicação do *DFMA* o ciclo retorna à fase inicial aproveitando e aplicando as simplificações e sugestões vindas da aplicação do método.

Figura 6 - Representação da estrutura e localização no *DFMA* no processo do projeto

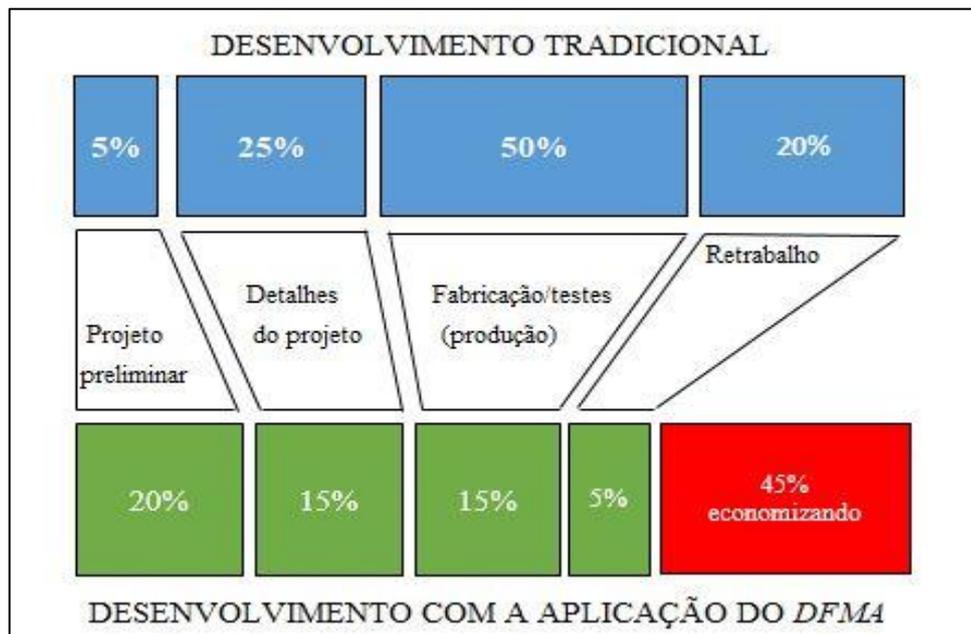


Fonte: Boothroyd, Dewhurst e Knight (2011).

Como comparação no processo de desenvolvimento de produto a figura 7, ilustra a economia de tempo apresentada no PDP com a utilização do *DFMA*, se comparada aos métodos de desenvolvimento tradicionais.

Geralmente os processos de PDP tradicionais apresentam uma distribuição dos tempos utilizados diferente dos processos de PDP que recebem o auxílio do *DFMA*. Normalmente quando o PDP não utiliza o *DFMA* para auxiliá-lo a concepção de um produto tem os tempos de detalhamento, manufatura e retrabalhos aumentados. Já com a utilização do *DFMA*, o tempo de projeto e estudo é aumentado, justamente para poder ter os tempos de detalhamento, manufatura e retrabalho minimizados, esse procedimento segundo Boothroyd, Dewhurst e Knight (2011), pode chegar a uma economia de até 45% do tempo total.

Figura 7 - Economia de tempo obtida pela utilização do *DFMA* no PDP



Fonte: Adaptado de Boothroyd, Dewhurst e Knight (2011).

2.3.3 Principais Obstáculos que Inviabilizam a Implementação do *DFMA*

A implementação do *DFMA* nem sempre é bem recebida pelos desenvolvedores, dado que muitas resistências e percalços no caminho da implementação podem levar ao insucesso do método. Algumas das barreiras e dificuldades, as quais foram identificadas pelos autores (BOOTHROYD, DEWHURST e KNIGHT, 2011):

- Falta de tempo: para Boothroyd, Dewhurst e Knight (2011), esse é a principal desculpa encontrada para a não implementação; muitos engenheiros, desenvolvedores e projetistas utilizam-se desse argumento alegando que o tempo de projeto é curto e a busca por tempos menores de projeto é constante.
- Síndrome do bebê feio: a utilização dessa metodologia pode ser uma afronta a outros engenheiros, pois criticar ou fazer recomendações a um projeto pode ser a mesma coisa que falar para uma mãe que seu bebê é feio. Recomenda-se nesses casos a participação do pai do projeto na análise de *DFMA*.
- Montagem com baixo custo: O baixo custo de montagem também é utilizado com argumento para a não utilização no método, entretanto uma análise *DFMA* bem constituída pode resultar em modificações e diminuição da quantidade de componentes resultando no custo final mais acessível.

- d) Volume baixo: Na maior parte das vezes os *designers* entendem que a utilização do *DFMA* só se justifica em grandes escalas de produção. Porém, essa não é uma verdade, esse procedimento torna-se ainda mais importante em produções de pequena quantidade. Em produções de pequena escala um produto pode ter seu custo diminuído significativamente visto que sua manufatura poderá ser simplificada.
- e) Preferência por regras de *design*: muitos projetistas e desenhistas preferem utilizar regras de design ao invés do *DFMA*, no entanto esse procedimento pode gerar outros problemas, regras de *design*, geralmente tentam criar peças mais simples de fabricar, o que nem sempre é bom para produto, pois peças com baixa complexidade podem não apresentar muitas funções, procedimento que pode levar a uma estrutura de produto mais complexa. A metodologia *DFMA* vai orientar o *design* a criar estruturas mais simples, seguindo alguns requisitos e fornecendo dados quantitativos que levam qualquer alteração de projeto para uma situação melhor ao produto.

2.3.4 Leis e Princípios de Aplicação do *Design for Manufacturing and Assembly*

As leis e princípios presentes no *DFMA* são facilmente encontrados na literatura, onde é possível verificar que ele leva em conta diversos aspectos de um componente ou montagem. Nessa metodologia, existe uma grande preocupação em contemplar características como a função, forma, material, tipo de processo de fabricação e montagem para que se tenha uma máxima redução de custos e facilidade na produção e montagem.

Como já mencionado durante o trabalho, o *DFMA* é uma abordagem conjunta do *DFM* com o *DFA*. Segundo Bralla (1996) e Malewschik (2016), no caso do *DFM*, ele pode ser alterado conforme o local de utilização da abordagem, pois em cada organização os custos de um mesmo processo podem ser diferentes, além disso cada empresa pode produzir o mesmo produto de maneiras distintas. Para a análise de facilidade de montagem ou *DFA*, existem alguns trabalhos mais genéricos que podem ser utilizados em diversas situações (BRALLA, 1996).

Trabalhos como a biblioteca de regras e aplicação para processos de fabricação o Sistema “Nível 5” da General Electric e o *Assembleability Evaluation Method – (AEM)* desenvolvido pela empresa Hitachi são exemplos de trabalhos de *DFM* e *DFA* desenvolvidos por empresas para facilitar a aplicação da metodologia.

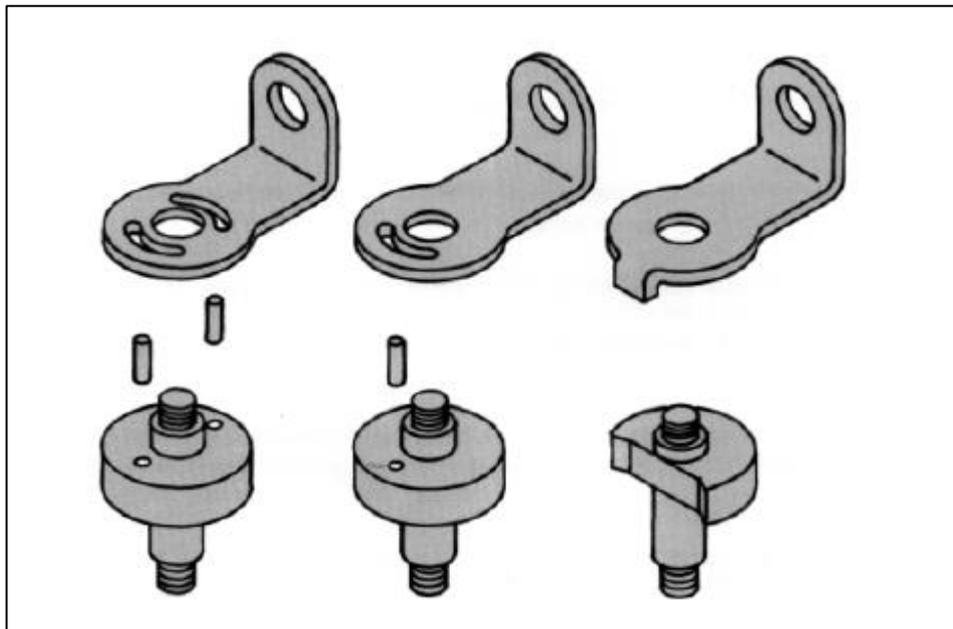
2.3.4.1 Método *DFM*

A metodologia *DFM*, basicamente guia os engenheiros na escolha de materiais e processos de fabricação, considerando as tecnologias disponíveis numa organização. Através do *DFM* é possível estimar tempos e custos de produção de um produto de forma quantitativa, comparando-o os processos e apresentando as melhores opções para fabricar um produto (YUMUS, 2008). Para Yumus (2008), o *DFM* apresenta três principais objetivos:

- a) Fomentar a qualidade dos produtos ainda no período de desenvolvimento;
- b) Reduzir custos de design, suporte técnico, manufatura e descarte;
- c) Diminuir o tempo de desenvolvimento.

Para Boothroyd, Dewhurst e Knight (2011), o *DFM* tem como objetivo projetar um produto que possa realizar suas tarefas funcionais plenamente e que tenha seus processos de fabricação facilitados, visando um menor custo de produção. Na figura 8 é possível observar que nos três conjuntos de peças a função dos componentes é a mesma, porém os custos de manufatura de cada conjunto não são os mesmos.

Figura 8 - Representação de montagens com a mesma função e custos diferentes



Fonte: Adaptado de Boothroyd, Dewhurst e Knight (2011).

A principal preocupação do *DFM* é promover a simplificação dos projetos e a diminuição dos custos com o apoio de critérios e princípios. Uma mescla desses princípios são: (FINOTTI *et al.*, 1999; YUMUS, 2008).

- a) Simplicidade e redução no número de componentes: um produto com poucas peças e peças simplificadas tem inúmeros benefícios como: menor sequência de fabricação, menor sequência de montagem, menor quantidade de ajustes, menor peso e conseqüentemente menores custos;
- b) Padronização e modularização: um bom projeto deve contemplar esses dois critérios, através da padronização é possível conseguir menores custos em matéria prima e fabricação. Processos e materiais padronizados facilitam a aquisição de componentes no mercado e ajudam a aumentar o volume comprado. Quanto a modularização sempre que for possível é interessante modularizar componentes e subconjuntos a utilização desse artifício pode resultar no agrupamento de processos, diminuição estoques, diminuição dos prazos de entrega e ainda pode aumentar o número de variações disponíveis ao cliente;
- c) Utilização adequada de tolerâncias: tolerâncias muito apertadas e não adequadas aos processos da organização podem aumentar o tempo de fabricação, gerar custos desnecessários e ainda dificultar os processos de manufatura e montagem dos componentes. Em muitos casos, ajustes de tolerâncias podem ser substituídos por chavetas, entalhes, componentes com molas, dentre outros. É de suma importância nesse critério que o projetista entenda o porquê da utilização da tolerância apertada, normalmente esse conhecimento pode reduzir a necessidade da sua utilização;
- d) Diminuir o número de componentes de fixação: apesar de normalmente não serem vilões dos custos, se forem utilizados em excesso esse tipo de componentes podem aumentar os custos, tempos de montagem e o tempo para localizar um fornecedor, fazendo com que seu custo de compra possa ser facilmente excedido pelos custos de instalação;
- e) Adequação do produto ao nível de processos disponível: para que um produto ou componente tem um custo acessível é importante que ele seja adequado ao nível de tecnologia de fabricação presente na empresa, segue a mesma linha de raciocínio das tolerâncias presentes no item c;
- f) Escolha correta do processo: além de adequar o nível do produto ao nível de processo, deve-se ter na ponta do lápis qual é o processo presente na empresa que possui o menor custo, projetando assim componentes que possam ser fabricados preferencialmente nesse processo.

2.3.4.2 Método *DFA*

O *DFA* é assim como o *DFM*, é um guia para auxiliar na criação de projetos e produtos mais bem elaborados, a diferença é que, nessa metodologia busca simplificar a estrutura dos produtos ao invés de pensar na fabricação, mesmo que na maioria dos casos a simplificação da estrutura do trabalho também leva a simplificação da sua manufatura (SAVI, GONÇALVES FILHO e SAVI, 2010). Segundo Boothroyd, Dewhurst e Knight (2011), é bem provável que 50% dos custos de produção de um produto podem estar atrelados aos processos de montagem.

Os autores Ulrich e Eppinger (2015), salientam que o *DFA* pode ser considerado um subconjunto do *DFM*, já que sua utilização pode diminuir os custos de montagem, pois a montagem nada mais é que uma parte da manufatura. Para eles a concentração de esforços no quesito simplificação de montagem pode gerar inúmeros benefícios indiretos, em muitos casos com essa metodologia simplificasse a complexidade dos componentes, reduz-se o número de componentes, dentre outros benefícios que acabam impactando diretamente nos custos de manufatura.

Segundo Boothroyd, Dewhurst e Knight (2011), e em conformidade com Ulrich e Eppinger (2015), é necessário promover uma estimativa contínua dos custos de montagem e além disso, os autores sugerem a utilização do conceito de eficiência de montagem. Esse conceito é um índice que mede a eficiência nas montagens, ele faz uma relação entre a estimativa real do tempo de montagem e o tempo teórico mínimo de montagem de um produto. Na maioria das literaturas esse índice é chamado de *DFA index*, a equação 1 apresenta como é calculado esse índice (BOOTHROYD, DEWHURST e KNIGHT, 2011).

$$DFA\ index = \frac{(Número\ mínimo\ teórico\ de\ peças) \times (3\ segundos)}{Estimativa\ de\ tempo\ total\ de\ montagem} \quad (1)$$

Ulrich e Eppinger (2015), salientam que os 3 segundos presentes na fórmula é um pré-requisito necessário para atender o tempo mínimo necessário para a inserção de um componente. Esse requisito prioriza a facilidade de inserção, ou seja, um componente de fácil inserção deve ter a mesma facilidade de colocar “uma bola num buraco”, e para atender esse pré-requisito deve-se levar em consideração termos como rugosidade, folgas, etc.

Conforme Ulrich e Eppinger (2011), a criação de uma nova peça ou a divisão de uma peça em dois componentes só é justificada se a mesma satisfizer uma ou mais condições

exigidas pelas três perguntas. Para o autor isso irá garantir o número mínimo teórico das peças, e essas perguntas são:

- a) A peça apresenta algum movimento em relação ao restante da montagem? Obs. Movimentos muito pequenos não fazem parte desse procedimento (Exemplos: movimentos de molas ou dobradiças);
- b) É preciso determinar algum outro tipo de material para a peça, por motivos físicos?
- c) A peça tem a necessidade de ser retirada por algum motivo de substituição manutenção ou acesso a outros componentes?

Abaixo estão descritos alguns dos principais requisitos que devem ser considerados com a função de auxiliar na maximização da facilidade de inserção (BOOTHROYD, DEWHURST e KNIGHT, 2011; ULRICH e EPPINGER, 2015).

- a) Buscar sempre que possível a simetria dos componentes nos três planos ortogonais, se não for possível, deixar o máximo de detalhes possível de forma simétrica, geralmente objetos simétricos, são de mais fácil manipulação;
- b) Projetar componentes que não consigam se embaraçar, componentes com essa característica podem atrapalhar os processos de estocagem, manipulação e movimentação;
- c) Desenvolver componentes que não necessitem de força para sua inserção;
- d) Tentar padronizar o máximo possível de componentes, sejam eles padronizados através de processos de fabricação ou geometria da peça. Padronização sempre gera enormes ganhos em estoque, manufatura, dentre outros;
- e) Priorizar a montagem empilhada ou no eixo Z, essa consideração pode facilitar a vida do montador e a gravidade pode ajudar na estabilização dos componentes;
- f) Projetar componentes com características de auto-alinhamento, peças com essa propriedade diminuem o tempo de montagem e aumentam a precisão do conjunto;
- g) Projetar peças que não necessitem de ferramentas para realizar sua montagem, geralmente peças que necessitam de ferramentas são mais demoradas para montar;
- h) Projetar componentes que possam ser montados com apenas um movimento linear. A inserção de um pino é mais fácil do que de um parafuso;
- i) Elaborar uma sequência de montagem e garantir acesso a todos os fixadores.

2.3.5 Trabalhos correlatados ao *DFMA*

Muitos trabalhos relacionados ao assunto do presente estudo foram encontrados nas bases de dados através da pesquisa apresentada no item 1.2.1, alguns desses trabalhos com maior relevância estão apresentados nos próximos parágrafos e serviram de suporte teórico e prático para o desenvolvimento da metodologia proposta no capítulo 3.

Dentre os trabalhos encontrados os mais relevantes estudos presentes nas referências brasileiras foram os trabalhos de Fioravanti (2005), Barbosa (2007) e Barbosa (2012). Esses três estudos são trabalhos voltados às indústrias automotiva e aeronáutica respectivamente.

No estudo apresentado por Fioravanti (2005), o objetivo foi avaliar a aplicação metodologia *Design for Six Sigma (DFSS)* no processo de desenvolvimento de veículos, sua principal contribuição para a formação desse trabalho foi o fato do autor conseguir demonstrar que uma metodologia *DFX*, quando bem estruturada e aplicada no processo de desenvolvimento de produtos, pode gerar muitos benefícios em termos de qualidade e redução de custos dos produtos.

Os trabalhos apresentados por Barbosa nos anos 2007 e 2012, apresentam respectivamente um estudo de aplicação do *DFMA* para o desenvolvimento de aeronaves e um estudo e desenvolvimento de um modelo de análise para a implantação da automação da manufatura de aviões baseados em requisitos do *DFX* e do *Lean Manufacturing*.

Nesses dois estudos, as lições mais importantes que de alguma forma auxiliam esse estudo foram no trabalho de 2007, a possibilidade de ver uma aplicação do *DFMA* com muito sucesso e ainda indo de encontro ao presente estudo criando, um Guia de Processo do *DFMA*, que visou disseminar a metodologia dentro da empresa de uma maneira mais simples do que as encontradas no mercado, já que a empresa encontrava-se no início do processo de implementação, mesma situação do presente estudo.

Já no estudo realizado pelo mesmo autor no ano de 2012, a principal relação com esse estudo, foi o fato dele apresentar uma visão bem elaborada dos processos de automação, e contribuir para identificação de pontos muito importantes no desenvolvimento de automações. No seu trabalho foi desenvolvido um Modelo de Análise para Automação da Produção, o qual tem uma relação direta ao presente estudo, já que ele pretende acelerar e diminuir custos nos processos de desenvolvimento e construção de equipamentos e automações.

No referencial internacional a quantidade de trabalhos encontrados foi muito maior e com nível de aplicação mais avançado. Na maioria dos trabalhos presentes no exterior o *DFMA* já se encontra mais bem disseminado e aplicado, estando muitas vezes já impregnados na

cultura das organizações e sua aplicação normalmente é auxiliada por *softwares* específicos para isso.

Dentro desses trabalhos internacionais pesquisados o trabalho do autor More *et al.* (2015) foi um dos que mais contribuiu para este projeto. O trabalho de More *et al.* (2015) apesar de ser bastante simples conseguiu trazer uma contribuição bem elaborada da aplicação do método *DFMA* de Boothroyd Dewhurst, fornecendo um bom ponto de partida para esse estudo.

2.4 FERRAMENTAS COMPLEMENTARES

As estratégias de Engenharia Simultânea como *DFM* e *DFA* necessitam muitas vezes de especificações e tolerâncias para expressar as reais funções e necessidades de seus componentes. Como possíveis ferramentas de apoio e complemento à implementação ao método *DFMA*, poderá ser utilizada durante o desenvolvimento do estudo a Matriz Morfológica e a Engenharia Dimensional.

2.4.1 Matriz Morfológica

O *DFMA* em muitas oportunidades pode ser utilizado juntamente com outras ferramentas, a Matriz Morfológica é uma ferramenta que em muitos casos apoia o PDP ou processo de desenvolvimento de produtos e possivelmente possa apoiar também o *DFMA*.

Essa ferramenta, geralmente é utilizada nas fases iniciais do projeto, fases que contemplam basicamente a conceituação dos projetos e que funcionam como um guia inicial que ajuda nas definições iniciais, contemplando pontos como: funções principais do produto ou equipamento no caso do presente trabalho, definições de materiais, formas geométricas, dentre outros.

A matriz morfológica é uma forma de geração de ideias que foi utilizada primeiramente por Fritz Zwicky, essa técnica basicamente auxilia a criatividade e aumenta a possibilidade de combinações necessária em um trabalho criativo. Essa metodologia cruza componentes de um problema tentando atingir uma melhor solução. Geralmente através desse procedimento chega-se a uma solução genérica, isto é, uma combinação das soluções possíveis apresentadas através da matriz morfológica (PRICKEN, 2009; OSTERTAG, OSTERTAGOVA e HUÑADY, 2012).

Conforme apresentado no trabalho de Zavadil *et al.* (2014) a matriz morfológica, nada mais é que uma tabela com a primeira coluna vertical contendo as funções e características que

são necessárias para a resolução de um problema e ainda leva nas linhas horizontais possíveis soluções para resolver o problema. As figuras 9 e 10, retiradas do livro Pricken (2009), exemplificam de maneira sucinta e muito consistente a utilização dessa metodologia na criação de um logotipo, para um festival de música, essa metodologia é bastante empregada também na concepção de produtos, conforme apresentado no trabalho dos autores (ZAVADIL *et al.* 2014).

Figura 9 - Representação da matriz morfológica

COMPONENTES (¿QUÉ?)	SOLUCIONES CONOCIDAS O POSIBLES (¿CÓMO?)									
Palabras y/o elementos tipográficos	live aid	LIVE AID	Live Aid	LIVE AID	L ^a	La	la	LA		
Elementos gráficos: instrumentos										
Elementos gráficos: música										
Elementos gráficos: mapa de África										
Elementos gráficos: símbolos africanos										
Elementos gráficos: animais africanos										
Elementos gráficos: motivos decorativos africanos										

Fonte: Pricken (2009).

Figura 10 - Representação da solução encontrada



Fonte: Pricken (2009).

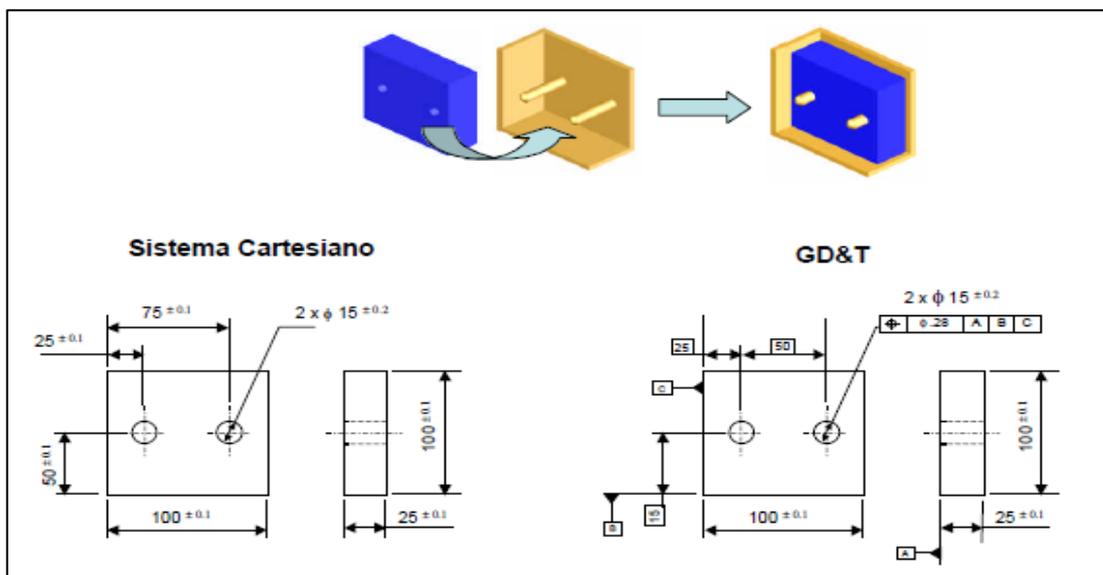
2.4.2 Engenharia Dimensional

Os conceitos da engenharia dimensional podem trazer ao *DFMA* uma contribuição a mais, já que a engenharia dimensional é área da engenharia que cuida das especificações geométricas dos componentes considerando aspectos como estética, função, segurança e compromete-se a atingir custos mínimos de produção (SOUSA, WANDECK e SILVA, 2003; COGORNO, 2006; STOCO, SANTOS, *et al.*, 2016).

Usualmente a engenharia dimensional utiliza-se das tolerâncias para determinar as especificações necessárias a um produto. As especificações ótimas dessas tolerâncias normalmente vêm apoiadas da utilização de duas principais ferramentas. A primeira delas é uma linguagem para a inserção de tolerâncias chamada de *GD&T* ou *Geometric Dimensioning and Tolerancing*. Já a segunda ferramenta é o emprego de artifícios computacionais chamados de *CAT* ou *Computer Aided Tolerancing*, que auxiliam na especificação de tolerâncias através de cálculos matemáticos capazes de resolver e simular erros de montagem e incompatibilidades presentes nas tolerâncias (SOUSA, WANDECK e SILVA, 2003).

Para Fanha (2011), o *GD&T* é um artifício do *design* utilizada para incluir símbolos, regras, convenções para aplicação de tolerâncias geométrica. A principal característica que difere essa metodologia do sistema de dimensionamento cartesiano, é o sistema de referência utilizado para aplicar cotas e informações, no *GD&T* essas informações são colocadas de forma estratégica e visam especificar um produto através de uma referência realmente importante na montagem de um componente. A figura 11 ilustra a diferença entre as metodologias.

Figura 11 - Representação do Sistema Cartesiano e *GD&T*



Fonte: Adaptado de Cogorno (2006).

Segundo Cogorno (2006) e Fanha (2011), o *GD&T* deve ser implementado quando necessita-se atingir os requisitos:

- a) Necessita-se apresentar claramente o sistema de coordenadas de um componente;
- b) As peças possuem características críticas de funcionalidade;
- c) Pretende-se diminuir a quantidade de peças descartadas por falhas da metrologia;
- d) Pretende-se diminuir a quantidade de modificações nos desenhos;
- e) Utilizam-se equipamentos automáticos;
- f) Deseja-se aumentar a produtividade;
- g) Quando deseja-se diminuir a quantidade de informações presentes nos desenhos.

Ainda segundo os autores mencionados nessa seção, os principais benefícios ocasionados pela utilização do *GD&T*, são:

- a) Maior campo de tolerância, cerca de 57%;
- b) Redução de custos devido ao aumento de aprovação de componentes;
- c) Facilidade na interpretação de características e controles que serão utilizados;
- d) Desenhos mais claros com menos dúvidas na interpretação.

Sobre a simulação computacional de tolerâncias ou *Computer Aided Tolerancing*, pode se dizer que, a técnica utiliza é a simulação de Monte Carlo, que auxilia na definição de tolerâncias ótimas, que viabilizam a obtenção do nível de qualidade necessária. Esse tipo de simulação é considerado muito robusto, pois simula a condição de montagem inúmeras vezes, alternando diversas variáveis segundo uma distribuição pré-definida (SOUSA, WANDECK e SILVA, 2003).

Após o estudo de conceitos realizado no presente capítulo, o qual visou detalhar e apresentar as peculiaridades do método *DFMA*, será apresentado pelo capítulo 3 o método estudado para a implementação do *DFMA* no contexto de construção de equipamentos, isto é, na concepção de máquinas industriais.

3 MÉTODO

Nesta seção é descrito o método de intervenção do projeto tendo por base fundamentos científicos. Pode-se descrever as ciências como procedimentos que utilizam métodos científicos. Entretanto, nem todos os trabalhos que utilizam esses métodos podem ser apontados como ciências, logo os métodos científicos não são exclusivamente utilizados pela ciência, porém não se considera ciências aquilo que é alcançado sem o apoio de métodos científicos (MARCONI e LAKATOS, 2017).

Para Marconi e Lakatos (2017) e Christovam (2017), o método pode ser definido como uma forma de proceder em um caminho empregando um grupo de atividades sistemáticas e racionais, que permitem gerar conhecimento válidos e verdadeiros auxiliando nas decisões de um cientista ou do pesquisador na empresa de forma econômica e segura.

Nesta seção do trabalho, está apresentado todo o procedimento metodológico utilizado para a aplicação e execução do estudo, evidenciando os passos e as fases realizadas durante toda a construção do estudo, visando esclarecer qual é o real objetivo do projeto. Além disso, nessa seção estão apresentados o local, os instrumentos de pesquisa, as opções metodológicas, a coleta e análise de dados e ainda as fases que qualificam o desenvolvimento do projeto no ambiente da empresa.

3.1 PESQUISA

Gil (2017), caracteriza a pesquisa como um processo racional e sistemático que visa elaborar soluções para problemas propostos. Já para Santos, Kienen e Castiñeira (2015), uma pesquisa é um processo baseado na lógica da descoberta e da criação, que tem como principal função buscar o entendimento de fatos ou fenômenos. Desta forma, este trabalho, considerando seu Objetivo Geral, está pesquisando um método mais eficiente para a construção de equipamentos para a organização, a partir dos princípios de *DFMA* aplicados ao seu contexto.

Geralmente uma pesquisa inicia-se na busca de uma solução para um problema, transformando esse problema em uma questão de pesquisa. Uma pesquisa inicia-se na maioria das vezes, quando não existe conhecimento disponível suficiente para a solução de uma determinada adversidade. Esse problema, só pode ser solucionado se o mesmo tiver sido pautado com instrumentos de ordem científica e a mesma ocorre com a utilização de fases, que iniciam-se na formulação do problema até a conferência de resultados (SANTOS, KIENEN e CASTIÑEIRA, 2015; GIL, 2017).

3.1.1 Tipos de pesquisa quanto aos objetivos

Para Gil (2017), uma pesquisa científica é um procedimento sistemático e racional que visa encontrar soluções para problemas propostos. Para ele esse procedimento é feito quando não se tem conhecimento suficiente para resolver um problema. Uma pesquisa pode ser classificada de diversos tipos, procedimentos técnicos e ainda ter diferentes técnicas específicas. Segundo o autor existe três tipos básicos de pesquisa com base em seus objetivos:

- a) Pesquisa Exploratória;
- b) Pesquisa Descritiva;
- c) Pesquisa Explicativa.

Esse trabalho conta com uma pesquisa de domínio exploratória-descritiva, isto é, uma pesquisa que a partir de um problema ou dificuldade vai em busca de construir hipóteses que possam auxiliar na resolução dele. Isso ocorre também pela necessidade de validação inicial do método proposto, antes de ser escalado para toda a linha de equipamentos produzidos.

A característica mais marcante desse tipo de pesquisa é buscar o aprimoramento de ideias. A pesquisa exploratória normalmente apresenta planejamentos flexíveis possibilitando a inclusão de inúmeros aspectos relativos ao assunto estudado (GIL, 2017).

Os autores Marconi e Lakatos (2017), sugerem que para ser uma pesquisa exploratória ela deve objetivar a formulação de problemas e questões através de três finalidades:

- a) Construir hipóteses;
- b) Prover a integração entre o pesquisador e o ambiente, fato ou fenômeno para conseguir realizar futuramente uma pesquisa mais precisa;
- c) Clarear e alterar conceitos.

3.1.2 Tipos de pesquisa quanto aos procedimentos metodológicos

Além da classificação utilizada para estabelecer o marco teórico com base em objetivos o autor Gil (2017), sugere que existe uma classificação baseada em procedimentos técnicos utilizados, e que serve principalmente para confrontar a versão teórica com informações vindas da realidade. Essa classificação basicamente é o delineamento da pesquisa, que nada mais é que o planejamento, e considera o local ou ambiente de coleta de dados e as formas de controle das variáveis envolvidas.

O delineamento é dividido em dois grupos, o primeiro é o grupo que carrega informações vindas do “papel” que são basicamente a pesquisa bibliográfica e a pesquisa documental. E o segundo é o grupo que traz informações vindas de pessoas, nesse grupo encontra-se a pesquisa experimental, a pesquisa *ex-post facto*, o levantamento, estudo de caso, a pesquisa-ação e a pesquisa participante (GIL, 2017).

A pesquisa-ação é uma modalidade de pesquisa única e polêmica, ela não faz uso do modelo tradicional de pesquisa científica e normalmente ela adquire conhecimentos claros e objetivos (GIL, 2017). Esse modelo segundo Thiollent (1985), é uma pesquisa de base empírica, isto é, traz consigo uma forte relação com um problema coletivo ou ação que resulta no envolvimento de todos os pesquisadores de forma coletiva. É uma abordagem apropriada para o ambiente empresarial, quando há necessidade de implantação e melhoria de métodos e processos.

Para esse estudo a estratégia de pesquisa utilizada foi a pesquisa-ação. Esse modelo de pesquisa pertencente ao grupo de pesquisas que busca informações vindas através do trabalho das pessoas, pode-se dizer ainda que ela tem caráter tecnológica, ou seja, é uma pesquisa que utiliza informações já existentes, aplicando esse conhecimento diretamente em um trabalho prático.

A escolha desse modelo passa muito pelo interesse do pesquisador e do ambiente onde a pesquisa será realizada. Através desse estudo o autor busca atingir o seu objetivo maior que é gerar conhecimento e estabelecer uma relação entre a teoria e a prática por meio do problema proposto, gerando algum tipo de resultado positivo para a organização, onde será realizado o estudo.

A abordagem pesquisa-ação trata-se de uma pesquisa organizacional aplicada, onde pesquisadores, participantes e clientes trabalham em grupo num diagnóstico, com a intenção de encontrar a solução para um determinado problema. Suas descobertas podem posteriormente servir de base de conhecimento para trabalhos futuros (BRYMAN, 1989; MELLO *et al.*, 2010; GIL, 2017).

As fases que compõe a pesquisa-ação segundo Gil (2017), são fases flutuantes, ou seja, elas ficam em um constante vaivém que é imprimido pelos pesquisadores em suas dinâmicas de grupo com o caso estudado. Para o autor apesar da pesquisa-ação não apresentar um delineamento estático, é possível apresentar algumas ações que podem ser consideradas etapas na pesquisa-ação. Essas ações são:

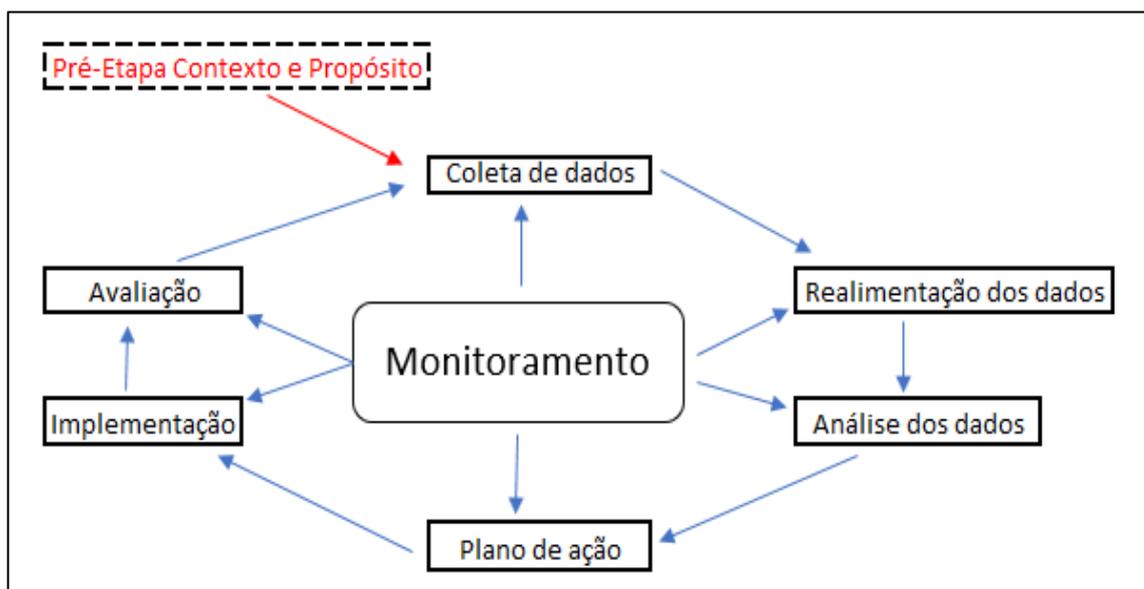
- a) Fase exploratória;
- b) Formulação do problema;

- c) Construção de hipóteses;
- d) Realização do seminário;
- e) Seleção da amostra;
- f) Coleta de dados;
- g) Análise e interpretação dos dados;
- h) Elaboração do plano de ação;
- i) Divulgação dos resultados.

Apesar de existirem várias formas de se elaborar as fases de uma pesquisa-ação, como as apresentadas no parágrafo anterior, para esse projeto seguiu-se um modelo de etapas adaptado de Coughlan e Coghlan (2002), ilustrado através da figura 12. Esse modelo utiliza basicamente três etapas que são:

- a) Pré-etapa que é a fase onde visa-se entender a finalidade e o contexto;
- b) Os seis passos principais que são a coleta, realimentação e análise de dados, plano de ação, implementação e a avaliação;
- c) Etapa de monitoramento que ocorre durante todo o ciclo, gerando conhecimento e levando o pesquisador a construir e acompanhar sua pesquisa.

Figura 12 - Representação do ciclo da pesquisa-ação

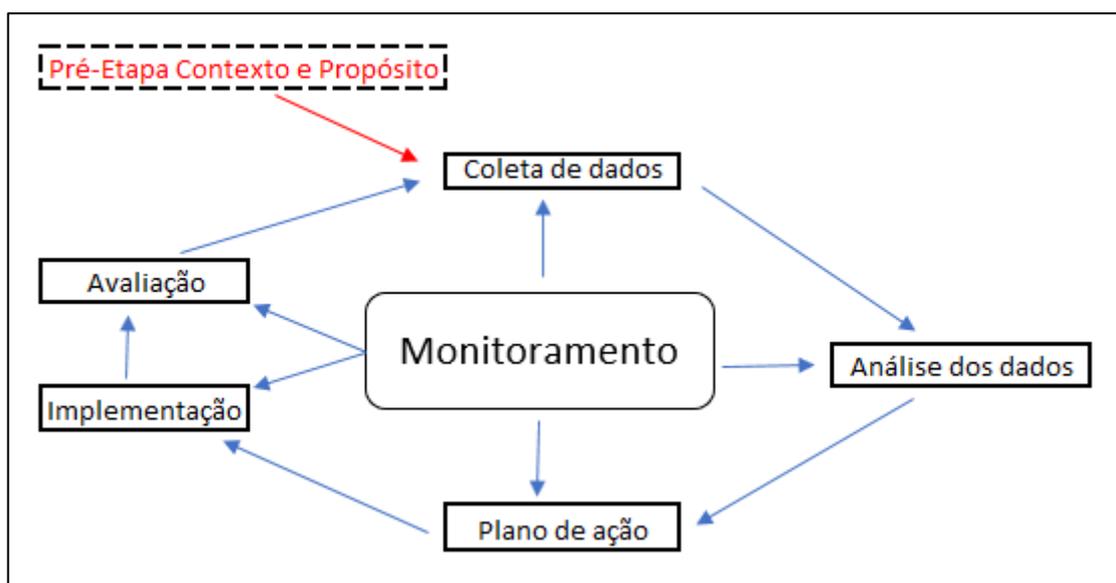


Fonte: Coughlan e Coghlan (2002).

3.2 ETAPAS DO MÉTODO PROPOSTO

No presente tópico do trabalho, estão presentes as fases que compõem o ciclo de pesquisa-ação proposto, basicamente as fases mantiveram-se as mesmas, conforme sugeriu Coughlan e Coughlan (2002), com exceção da etapa de realimentação de dados, a figura 13 representa as fases do ciclo de pesquisa-ação.

Figura 13 - Representação do ciclo de pesquisa-ação adaptado



Fonte: Adaptado de Coughlan e Coughlan (2002).

Adiante, cada fase do ciclo está brevemente descrita com o intuito de gerar um melhor conhecimento do ciclo completo de pesquisa-ação utilizado. Essas etapas foram elaboradas por meio das necessidades e objetivos que o presente trabalho possui e baseando-se num modelo adaptado de Coughlan e Coughlan (2002), utilizado por Christovam (2017), em um trabalho de desenvolvimento de produtos numa empresa fabricante de implementos agrícolas.

- a) Pré-etapa: Foi composta por uma reunião com o diretor industrial e os dois principais gerentes da área técnica da empresa, visando esclarecer os objetivos do trabalho e buscando entrar em consenso de critérios que iriam guiar o estudo, a partir das definições gerais para a implantação de métodos de *DFMA*. Esta etapa gerou direcionamentos para a etapa de coleta de dados.
- b) Coleta de dados: Foi realizada por meio da entrevista com os três principais decisores da área técnica e ainda buscou dados em documentos do setor de engenharia. Estudou ainda as famílias de equipamentos já existentes promovendo

uma nova classificação. Escolheu ainda dentro das famílias de equipamentos existentes, quais eram as ideais para a realização do estudo.

- c) Análise de dados: Reuniu os dados e respostas presentes nas matrizes de entrevista, comparando-as e buscando encontrar a relação entre o processo de construção de equipamentos atual com o novo processo proposto baseado na metodologia *DFMA*.
- d) Plano de ação: Criou uma equipe que auxiliou no estudo de viabilidade do método e determinou um novo procedimento para a construção de equipamentos na empresa. Com o auxílio dessa equipe desenvolveram-se os critérios que se tornaram o guia para diminuição de componentes e modularização deles.
- e) Implementação: Nesse passo foram projetados dois novos equipamentos um de alta e outro de baixa complexidade seguindo os requisitos estabelecidos pelo plano de ação. Esses equipamentos foram um de baixa e outro de alta complexidade para garantir que o método realmente funcione nas duas situações.
- f) Avaliação: Verificou-se o desempenho da metodologia *DFMA* comparando com a metodologia atual, quantificando as perdas ou ganhos obtidos através do estudo.

O efeito e produto final, que se buscou com a realização desse trabalho, foi entregar para organização um guia para projetistas e engenheiros poderem construir equipamentos com maior organização, menor tempo e menor custo. Esse guia pode futuramente sustentar a lógica para a informatização de um sistema de *DFMA* para equipamentos, podendo resultar num *software* integrado. Além disso, o intuito é tentar contribuir com conhecimento para outras pessoas que pensem em realizar algum tipo de estudo semelhante.

Na empresa em estudo, já existe um padrão de procedimento para o processo de construção de equipamentos, porém esse processo é próprio da organização e não leva consigo nenhum método científico citado em literaturas. A oportunidade de estudo é justamente a intervenção e implementação nesse processo, a ideia foi entregar algo que facilite e colabore com o desenvolvimento de novos equipamentos e tecnologias dentro da instituição.

3.3 INSTRUMENTOS DE COLETA DADOS ASSOCIADOS AO MÉTODO

Como ferramenta de auxílio, para a elaboração do estudo, um dos componentes que prestou assistência a coleta de dados, foi a entrevista com os decisores da empresa. O conceito de uma entrevista pode ser descrito como, uma ocasião onde uma pessoa realiza questões para a outra "face a face" (GIL, 2017).

Marconi e Lakatos (2017), definem entrevista como um encontro entre duas pessoas, onde uma pessoa busca através de perguntas obter informações vindas da segunda pessoa que é a entrevistada. Esse procedimento, traz como objetivo principal obter informações para um determinado assunto.

Para Marconi e Lakatos (2017), a entrevista possui seis principais tipos de objetivos, para o presente estudo o objetivo foi buscar elaborar planos de ação. Esse tipo de objetivo visa por meio de informações de cada indivíduo, prever qual a conduta mais adequada a seguir numa determinada circunstância.

A utilização da entrevista para esse estudo, deu-se pelo fato de a mesma ser uma das técnicas de interrogação mais flexíveis, e também por ela garantir que o tema seja bem específico não deixando entrevistado e entrevistador desviar o foco do estudo, normalmente uma entrevista é guiada por algum tipo de roteiro (GIL, 2017).

Alguns cuidados para elaboração das perguntas de uma entrevista são: (GIL, 2017; MARCONI e LAKATOS, 2017).

- a) As questões devem ser diretas;
- b) Ter um objetivo claro a ser alcançado;
- c) Ter um planejamento elaborado;
- d) Os entrevistados devem ter conhecimento suficiente para responder as perguntas;
- e) As perguntas não devem influenciar uma resposta;
- f) As perguntas não devem exigir um grande esforço mental do entrevistado;
- g) Deve-se garantir sigilo quanto ao entrevistado.

Através das sugestões e relatos dos autores acima, o roteiro para a entrevista foi elaborado dividindo a entrevista em três grupos de perguntas.

O primeiro grupo de perguntas teve como finalidade descobrir se os decisores conhecem a metodologia *DFMA*, e qual o nível de conhecimento que eles possuem. O segundo grupo, teve a função de obter, informações quanto aos interesses da empresa pelo projeto, nesse momento tentou-se entender se os gestores da empresa tem a intenção de implementar ou pelo menos testar a metodologia.

Já o último grupo de perguntas, foi um grupo de questões dependentes, isto é, conforme as respostas dos primeiros grupos de perguntas, as mesmas seriam ou não aplicadas. Nesse grupo em específico, o objetivo foi entender quais os principais critérios, que o estudo deve seguir, caso a metodologia venha ser implementada ou testada. O roteiro da entrevista está apresentado no Apêndice A.

Para auxiliar na coleta de dados além da entrevista com os gestores da empresa outros instrumentos de coleta de dados foram observados, dentre eles pode-se destacar documentos técnicos em geral, desenhos, informações técnicas, fichas de processo, fluxogramas, sistema da empresa etc. A visitação e observação nas áreas de engenharia, manufatura e montagem de equipamentos também fez parte da coleta de dados.

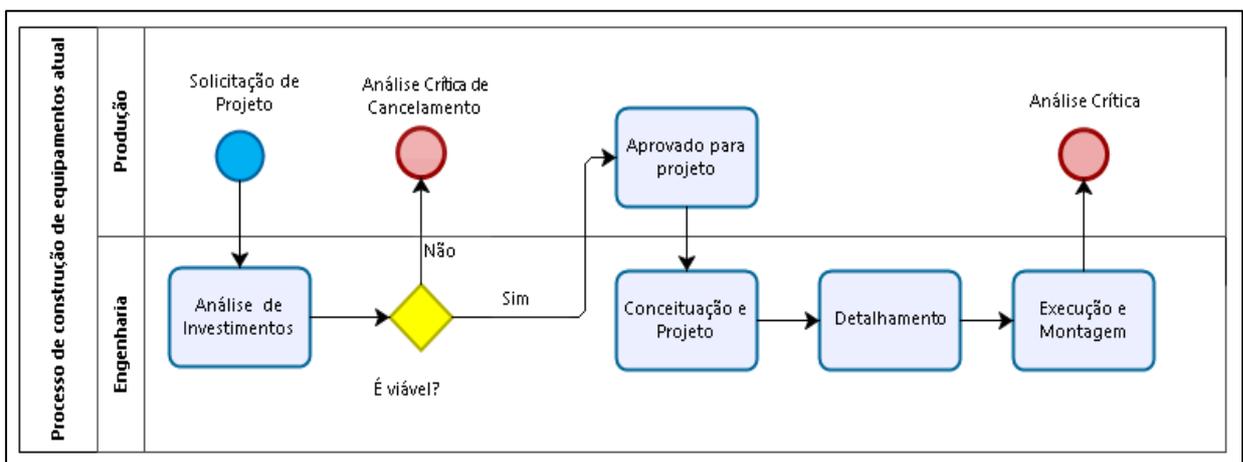
3.4 PASSOS PARA A IMPLEMENTAÇÃO DO MÉTODO DFMA

A realização desse estudo ocorreu no setor de engenharia da organização, empresa do ramo metalúrgico, situado no Rio Grande do Sul, e que tem como ramo de atividades a fabricação de ferramentas para agricultura, construção civil e jardinagem.

Atualmente, a empresa por necessitar de uma grande variedade de equipamentos especiais, constrói por si mesma uma grande parcela desses equipamentos, promovendo um certo “conhecimento próprio”.

O processo de construção desses equipamentos na empresa passa basicamente pelas fases apresentadas na figura 14.

Figura 14 - Representação do processo de construção de equipamentos



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

A fase solicitação é a primeira fase do processo, é onde são solicitados novos equipamentos, ou seja, quando um supervisor ou gerente de um setor percebe a necessidade de construção e desenvolvimento de um equipamento para atender a demanda de produção e o solicita ao setor de engenharia.

Na segunda fase é realizada uma pequena análise de investimentos, isto é, empresa faz um pequeno estudo de viabilidade para ver se é realmente necessário a construção desse equipamento e se ele irá ter o retorno de investimento esperado.

A terceira fase é a aprovação de continuidade, isto é, se o projeto for viável é aprovado para seguir os próximos passos.

A quarta fase é a conceituação e desenvolvimento, nessa fase são levantadas as necessidades e características que o equipamento deve conter e é nesse momento que se elabora todo o projeto em si.

A quinta fase ou detalhamento é um dos pontos mais importantes do processo, pois é aqui que são elaborados todos os desenhos e planos para a manufatura. Nessa etapa também pretende-se incorporar uma das ferramentas de auxílio a implementação ao *DFMA*, que será a aplicação da Engenharia Dimensional. Ferramenta que terá como principais funções facilitar o trabalho dos projetistas no detalhamento e entregar para a manufatura desenhos com maior riqueza de detalhes, principalmente no que diz respeito a manufatura.

A sexta fase é a responsável pela manufatura, montagem, testes e *tryout* dos equipamentos, essa etapa um dos pontos chave do processo e um dos pontos onde, pretende-se melhorar com o presente estudo

A sétima e última fase é análise crítica do processo, é o ponto onde os decisores da empresa descrevem e analisam quais os pontos positivos e negativos do projeto, e qual é o aprendizado e conhecimento adquirido, para projetos futuros.

Além das fases mencionadas e apresentadas anteriormente, os equipamentos construídos na empresa carregam consigo uma classificação por famílias:

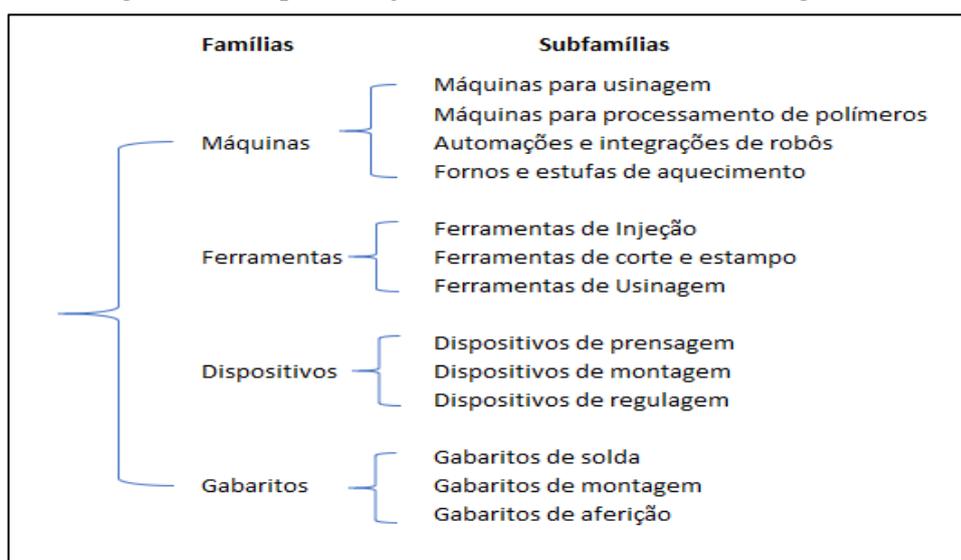
- a) Máquinas: são as automações e máquinas de maior complexidade construídas na empresa;
- b) Ferramentas: nessa família apresentam-se todas as ferramentas ligadas aos processos de injeção e extrusão de plásticos, ferramentas para corte e estamparia de metais e ferramentas de usinagem;
- c) Dispositivos: são os equipamentos mais simples e que normalmente não utilizam motores para realizar suas funções. Normalmente estes dispositivos são apenas munidos de algum tipo de acionamento pneumático ou hidráulico;
- d) Gabaritos: da mesma forma que o anterior também pode-se dizer que são elementos de menor complexidade e contemplam gabaritos que auxiliam em alguma montagem manual e principalmente gabaritos de solda;

- e) Gabaritos de aferição: são normalmente gabaritos passa ou não passa e sistemas de medição ou verificação de algum produto.

A intenção desse trabalho foi realizar uma intervenção nesse processo de construção de equipamentos, devido a diversos motivos especificados na justificativa prática, item 1.2.2. Essa intervenção orientou-se basicamente pela fundamentação teórica apresentada durante o capítulo 2 e por observações e conhecimento qualitativo presente na empresa.

Para a realização do estudo foi proposta uma nova classificação das famílias incluindo subfamílias e novas fases no processo de construção de equipamentos. A justificativa para alteração das famílias é o simples fato de agrupar os projetos por semelhança a fim de facilitar a aplicação da metodologia. A classificação das novas famílias está demonstrada através da figura 15.

Figura 15 - Representação de famílias e subfamílias sugeridas



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Os projetos escolhidos para a implementação do método foram, um equipamento da família máquinas e da subfamília máquinas para processamento de polímeros e o outro um equipamento da família gabaritos e da subfamília gabaritos de solda.

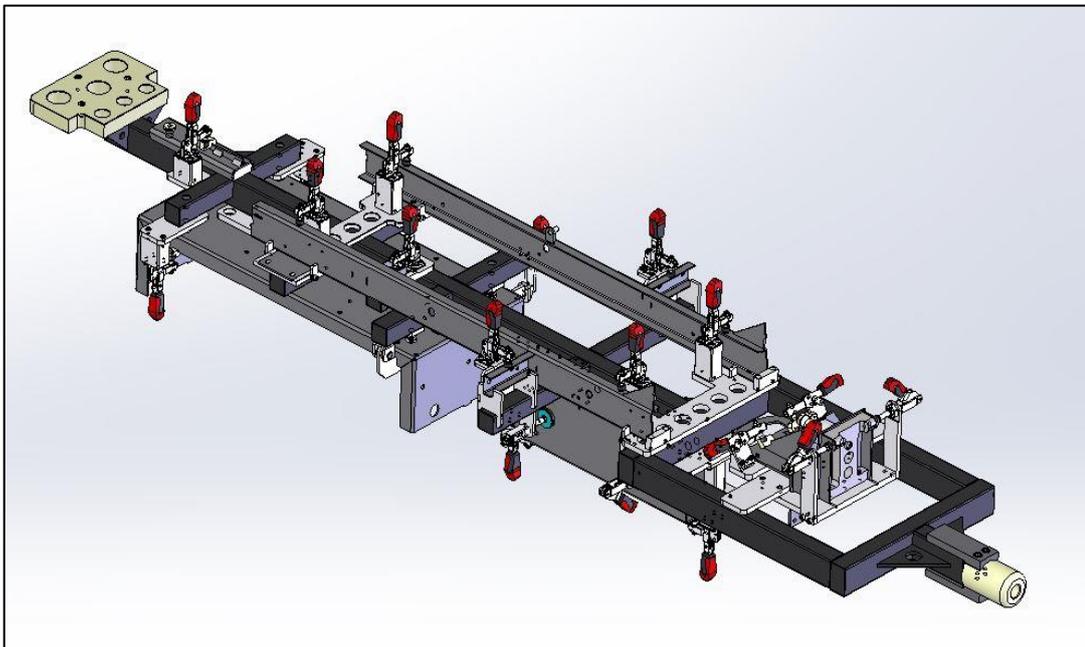
A escolha do primeiro projeto deu-se pelo fato do equipamento ser bastante complexo e por já existir um histórico da sua evolução, isto é, existem várias versões desse equipamento e está ilustrado através da figura 16. Já o segundo projeto, foi escolhido, pois existe uma grande quantidade desses gabaritos na empresa e ele apresenta uma baixa complexidade que é uma das premissas para conseguir avaliar o método, esse equipamento está ilustrado na figura 17.

Figura 16 - Representação do equipamento de maior complexidade



Fonte: Acervo de imagens da empresa (2018).

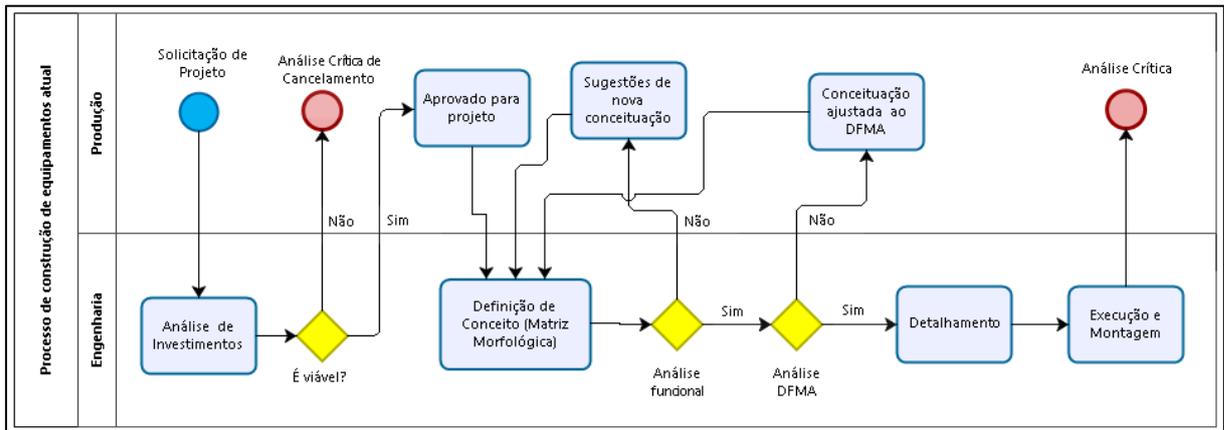
Figura 17 - Representação do equipamento de menor complexidade



Fonte: Acervo de imagens da empresa (2018).

Quanto ao processo, foram inclusas algumas novas fases, pois foi por meio delas que foi possível implementar o *DFMA*, e a figura 18 apresenta o processo de construção de equipamentos sugerido com novas fases implementadas.

Figura 18 - Representação do processo de construção de equipamentos sugerido

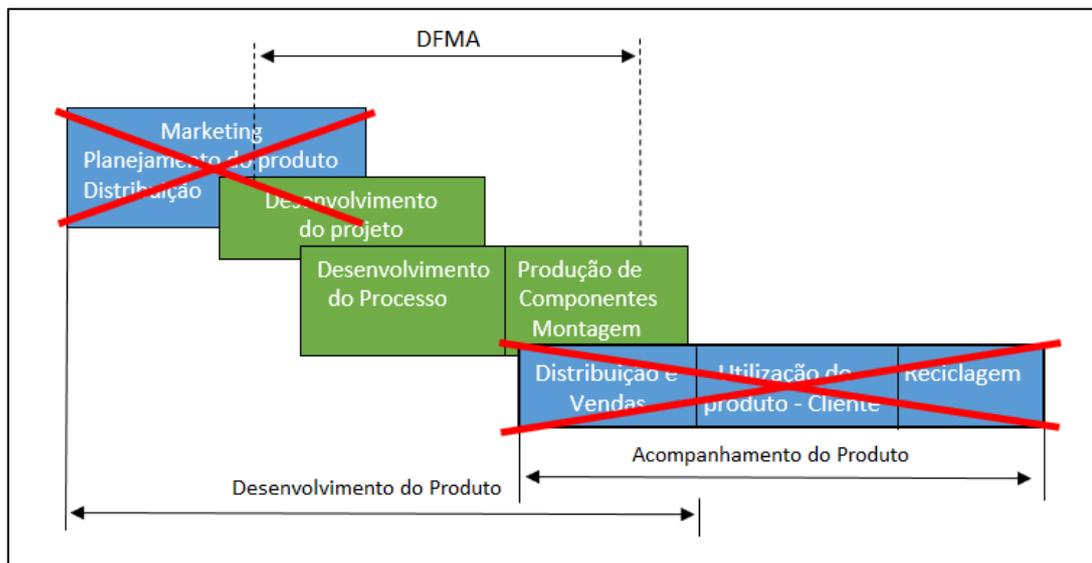


Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Dentre as fases adicionadas no processo e que estão apresentadas na figura 18, vale destacar, a fase de definição de conceito, que é a fase mais crítica do projeto, conforme menciona os modelos de Rozenfeld *et al.* (2006) e Cooper (2008). Nessa fase segundo os modelos dos mesmos autores é que são elaboradas as ideias principais, e é aqui que o projeto nasce e muito das opções levantadas nessa fase acompanham o projeto até as fases finais, tornando-se as balizas que guiam todo o processo. Além disso, a definição de conceito é extremamente crítica, pois aqui existe uma enormidade de incertezas e é preciso tomar muitas decisões que podem influenciar diretamente no atendimento as necessidades do cliente, no caso desse trabalho o “cliente interno” e nos custos do produto (equipamentos no caso desse estudo).

Durante a realização do capítulo 2, foi possível observar que existem muitos modelos para o desenvolvimento de produtos (PDP). O presente estudo, tentou aplicar a metodologia *DFMA* dentro do modelo de PDP proposto por Pahl *et al.* (2005), esse modelo de forma adaptada também foi utilizado em diversos trabalhos, o trabalho realizado por Souza (2007) é um exemplo bem prático disso, nesse trabalho, o autor realizou um estudo de caso aplicando o *DFMA* em uma abordagem da engenharia reversa. O presente trabalho, aplicou o *DFMA* em apenas algumas fases do PDP, pois o processo de desenvolvimento de produtos, é muito amplo, envolvendo assuntos como: *marketing*, distribuição, vendas, dentre outros que não são o foco desse estudo. A figura 19 apresenta de forma esquemática em quais fases do PDP o *DFMA* será aplicado.

Figura 19 - Representação da localização do *DFMA* dentro do PDP



Fonte: Adaptado de Pahl, Beitz, *et al.* (2005).

O motivo desse procedimento, é justificado pelo fato dos equipamentos aqui estudados não serem produtos para venda, e sim “produtos internos”, isto é, equipamentos que deverão atender os clientes internos da empresa, ou seja, os clientes são outros setores da empresa pertencentes a produção, esses equipamentos são na verdade máquinas, dispositivos e ferramentas específicos e desenvolvidos internamente para que a empresa possa produzir seus produtos.

Dentro das fases do desenvolvimento de produtos e desenvolvimento de processo é que foi implementado o *DFMA*, essa metodologia seguiu os passos Boothroyd, Dewhurst e Knight (2011), conforme já apresentado no capítulo 2, através da figura 6.

Na figura 6, a aplicação do *DFMA* inicia-se na conceituação do projeto, entretanto nessa tentativa de implementação, o processo será iniciado pela análise de *DFA*, pois os projetos que foram analisados, já estão constituídos, e não necessitam de conceituação, conforme apresentado na figura 20.

A fase de conceituação dos projetos, será sempre utilizada para a construção de equipamentos, somente nesse estudo que ela será ignorada, pois os projetos já existem e só receberam melhorias através da aplicação do *DFMA*. Essa fase em outros momentos será feita com o auxílio da Matriz Morfológica, conforme apresentado na figura 18.

Na fase de início o *DFA*, foi realizada uma análise de eficiência de montagem indo de encontro ao que foi apresentado no item 2.3.4.2. Com as informações vindas dessa análise, foram sugeridas e implementadas melhorias com a finalidade de simplificar a estrutura do equipamento voltando ao início do processo.

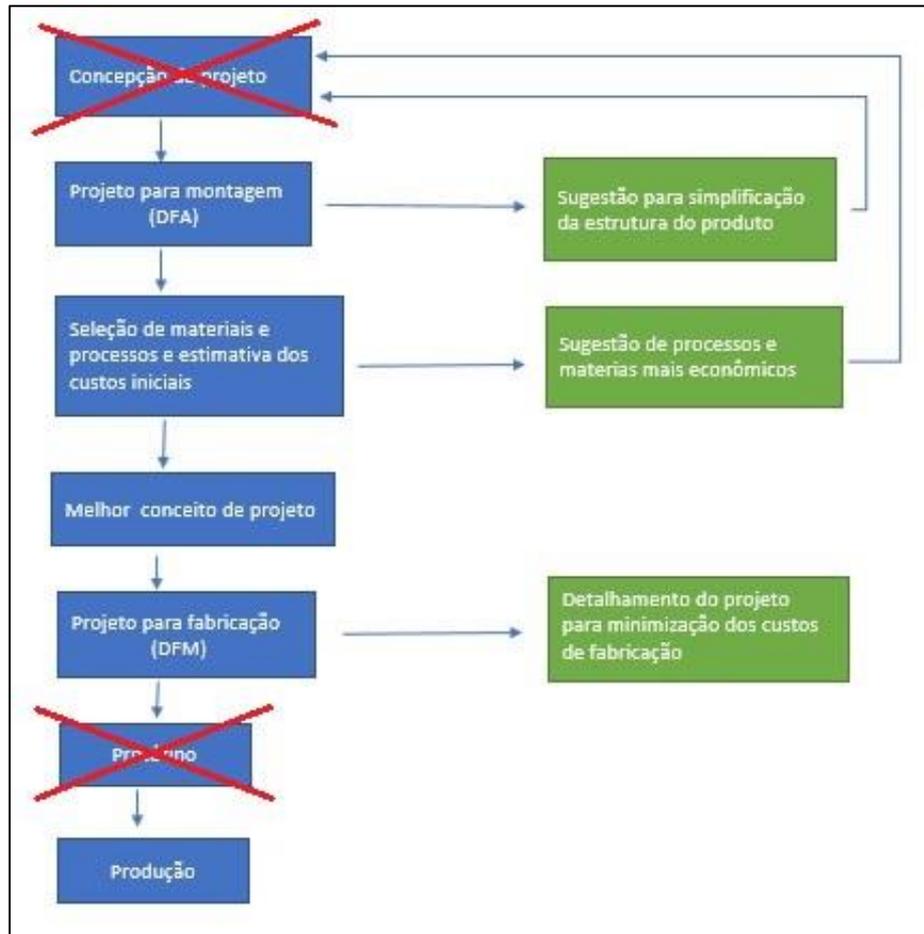
Posteriormente com um novo conceito de projeto ajustado ao *DFA*, foram feitas a seleção de materiais e processos na tentativa de estimar os custos iniciais. Após isso, o projeto recebeu novas sugestões de processos e materiais mais viáveis economicamente, retornando para uma nova conceituação.

Nessa nova conceituação, o projeto deve contemplar os princípios básicos do *DFMA*, previstos na revisão bibliográfica, em conjunto com os princípios elaborados através da entrevista, e que guiam principalmente a aplicação do *DFM*, pois conforme sugere Boothroyd, Dewhurst e Knight (2011), o *DFM* geralmente é guiado em cada organização de forma diferente.

Após essa revisão e conceituação do melhor projeto, o equipamento passou a fase de projeto para fabricação, onde foi realizada uma revisão detalhada dos processos de fabricação, podendo apresentar eventuais sugestões, para que o projeto tenha sua manufatura simplificada.

Por fim, o projeto passou pelos passos de detalhamento para a minimização dos custos, isto é, recebeu instruções e um planejamento de fabricação, com o intuito de minimizar custos de fabricação e passando por último para o processo de produção, que pode ser entendido como montagem. O passo de prototipagem não ocorreu durante a construção de equipamentos, visto que, o equipamento não é um produto para venda e muito provavelmente será construído apenas uma única vez.

Figura 20 - Representação dos passos utilizados



Fonte: Adaptado de Boothroyd, Dewhurst e Knight (2011).

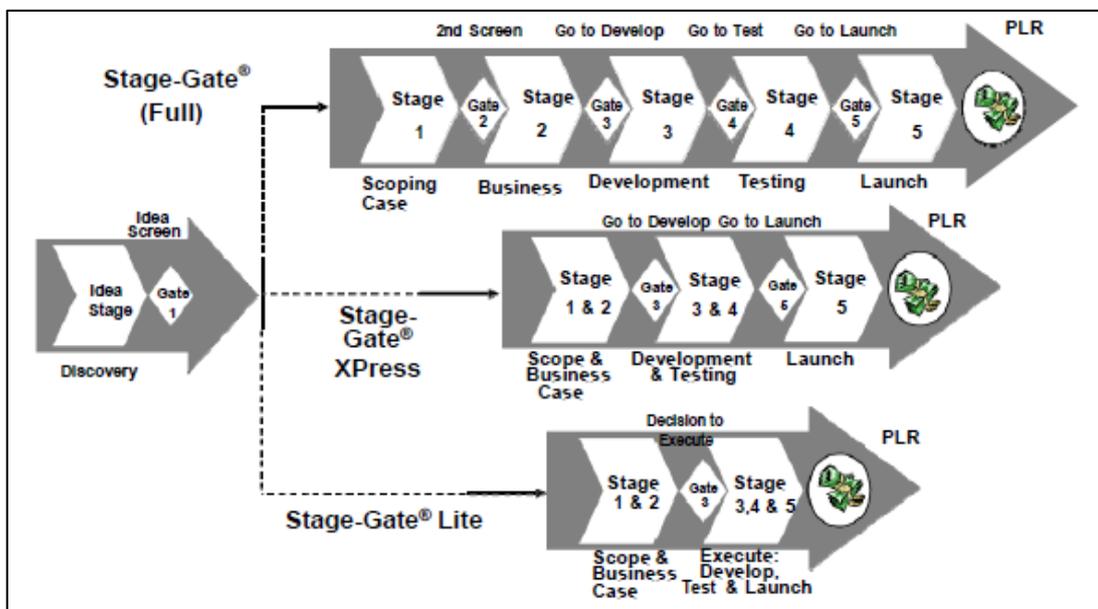
Além desses passos, para conseguir implementar o *DFMA* em dois níveis de complexidade foram utilizados dois modelos de guia, o primeiro um guia denominado *DFMAexpress*, ou seja, um componente que vai em busca de uma análise rápida, nesse modelo a intenção é contemplar apenas os principais critérios do *DFMA*, visto que um projeto simples com muita burocracia pode elevar os custos de um equipamento na etapa de projeto. Para o segundo modelo buscou-se entregar um artifício mais robusto, um guia denominado *DFMAfull*, isto é, um modelo que pudesse analisar e implementar a metodologia de forma mais profunda e com critérios mais bem elaborados, visto que em projetos mais complexos e de maior o valor a etapa de projeto também pode ser mais bem estruturado já que o tempo disponível também é maior.

Num primeiro momento o *DFMAfull* foi utilizado nas famílias de máquinas e ferramentas que são as consideradas mais complexas. O *DFMAexpress* por sua vez foi utilizado nas famílias de dispositivos e gabaritos que são consideradas famílias com equipamentos de menor complexidade.

Além disso, dentro desses modelos a intenção foi criar alguns critérios específicos para cada tipo de projeto, por exemplo, na subfamília gabaritos para solda existiram critérios como escolher materiais de boa condutividade elétrica e que dificultem o acúmulo de respingos de solda.

Essa ação de criar dois modelos foi baseada na literatura do PDP, mais especificamente no modelo de *stage-gates*, apresentada por Cooper (2008), onde os *stage-gates* também receberam uma classificação que visava de otimizar o tempo e custo das análises conforme o nível de exigência necessário. A figura 21 apresenta de forma sucinta o procedimento utilizado pelo autor para realizar essa classificação.

Figura 21 - Representação de diferentes modelos de *stage-gates*



Fonte: Cooper (2008).

Como processo de avaliação da implementação, foram utilizados indicadores que possam comparar o método atual de construção de equipamentos, com o método proposto durante o presente estudo. Esses indicadores foram divididos em três grupos. O primeiro grupo fez uma menção ao processo de projeto, o segundo grupo ao processo de manufatura e o terceiro grupo foi voltado aos processos de montagem. A definição desses grupos foi realizada com base nas maiores necessidades do processo, ou seja, diminuição de custos e aumento da velocidade da construção. O quadro 1 apresenta de forma sucinta quais são esses indicadores.

Quadro 1 - Representação dos indicadores utilizados

Grupo 1 – Projeto	Grupo 2 – Manufatura	Grupo 3 – Montagem	Custo Total
Quantidade de parafusos e porcas;	Tempo total de usinagem (h);	Tempo teórico de montagem (s);	Custo total de itens comprados (R\$);
Quantidade de peças cortadas em laser;	Tempo total de corte laser (h);	Tempo total de montagem (s);	Custo total de matéria prima (R\$);
Quantidade de peças fresadas;	Tempo total de usinagem (h);	Tempo total de montagem (h);	Custos diversos (R\$);
Quantidade de peças torneadas;	Tempo total de soldagem (h);	Índice <i>DFA</i> ;	Custo Total (R\$).
Quantidade de subconjuntos soldados;	Tempo total de dobras (h);	Custo total de montagem.	
Quantidade de itens padronizados;	Tempo total de manufatura (h);		
Quantidade de itens comprados;	Custo total de manufatura (R\$).		
Quantidade de subconjuntos;			
Tempo total de projeto (h).			

Fonte: Elaborada pelo autor (2018).

3.5 ANÁLISE DE RISCOS E GESTÃO DA MUDANÇA

Considerando que, o projeto proposto envolve mudança de rotinas operacionais que estão sendo efetuadas há mais de 15 anos na empresa, considera-se que um ponto crítico é o entendimento dos riscos e as estratégias de gestão da mudança, que poderão ser necessárias para a adoção do *DFMA*, no processo da empresa.

Deste modo, a análise de riscos envolveu identificar a probabilidade (baixa, média, alta) de um determinado evento e o seu impacto em relação ao projeto (baixa, média, alta). Sendo assim, foi possível priorizar os planos de ação para os eventos de maior probabilidade e maior impacto através de uma matriz de risco. Existem muitos modelos de matriz de risco, nesse trabalho a construção da matriz foi baseada no trabalho de Rovai (2005), e está representada através da figura 22.

Figura 22 - Representação da matriz de riscos

Probabilidade/ Impacto	Baixa (0,2)	Média (0,4)	Alta (0,6)
Alto (0,6)	0,12	0,24	0,36
Médio (0,4)	0,08	0,16	0,24
Baixo (0,2)	0,04	0,08	0,12

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Através da figura 22 é possível verificar que os riscos que ficarem expostos na parte superior direita em vermelho são os considerados mais elevados e os riscos que estiverem localizados no canto inferior esquerdo em verde serão os riscos menos prováveis e impactantes.

Com o lançamento dos riscos na matriz obteve-se os seguintes resultados para cada critério de avaliação:

- a) Não entendimento por parte da Gerência, foi considerado com probabilidade média e alto impacto, recebendo pontuação total de 0,24 e, portanto, considerada de alto risco;
- b) Resistência por parte da Engenharia, foi considerada com probabilidade e impacto alto e recebendo pontuação de 0,36 e com classificação final de alto risco.
- c) Falta de tempo dos engenheiros e projetistas, foi considerado com probabilidade e impacto médio, atingindo a pontuação de 0,16 e recebendo a classificação total de médio risco.
- d) Preferência por outras metodologias, foi considerada com probabilidade e impacto baixo resultando em uma pontuação de 0,08, e, portanto, de risco total baixo.
- e) Maus resultados apresentados pelos indicadores de *DFMA*, considerado com probabilidade e impacto médio resultando na pontuação de 0,16 e recebendo classificação final de médio risco.

Deste modo, esses resultados da matriz de riscos foram utilizados como base para o estudo de *DFMA* em si e para o plano de ação apresentado através do quadro 9, no capítulo 4, priorizando principalmente os riscos de perfil alto como o não entendimento da Gerência e a resistência por parte da Engenharia, criando por exemplo, as reuniões de apresentação do projeto e a elaboração de treinamentos.

3.6 ANÁLISE DOS DADOS

A análise dos dados contemplou dois procedimentos principais que integraram os dados provenientes da entrevista com os dados provenientes da análise dos equipamentos escolhidos.

O primeiro procedimento foi compilar as respostas da entrevista realizada com os membros decisores da empresa, transformando as respostas em orientações para a aplicação do *DFMA* em equipamentos.

Por intermédio dessas respostas, foram elaborados os planos de ação e quais os principais requisitos do *DFMA* que deverão estar contemplados nos guias *DFMAfull* e *DFMAexpress*, bem como os que poderão ser descartados.

Além disso, as respostas foram os instrumentos que balizaram a escolha e priorização de processos, ou seja, através da entrevista foi possível escolher quais os processos que devem ser utilizados de forma prioritária, visando um menor custo em cada equipamento construído.

O segundo procedimento de análise de dados estudou as famílias e os equipamentos por meio do *DFMAfull* e *DFMAexpress*, que são os guias da metodologia ajustada às necessidades da empresa. Esses dois guias foram utilizados na forma de *checklist*, conforme apresentado nos Apêndices B e C.

O objetivo da realização dessas análises foi testar o método e estudar os projetos já existentes, sugerindo melhorias que possam de alguma forma diminuir custo e tempo de entrega de um equipamento.

Após realizados esses dois procedimentos da análise, os dois equipamentos escolhidos foram projetados novamente e, ao final os projetos foram comparados com os projetos antigos, apresentando, assim, quais foram os ganhos e dificuldades encontrados durante o teste da metodologia, tentando buscar informações para ajustar a metodologia em uma futura implementação da metodologia.

4 RESULTADOS

4.1 DESCRIÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para apresentar os resultados, seguiu-se a ordem das fases presente no método de pesquisa-ação proposto no capítulo 3. Os resultados começaram a ser obtidos na pré-etapa, que foi quando a proposta do trabalho foi apresentada, com a intenção de buscar a opinião dos gestores da empresa sobre o assunto.

4.1.1 Resultados da pré-etapa à análise *DFMA*

Com a realização da entrevista e da reunião de apresentação do trabalho, foi possível obter um parecer positivo dos decisores da empresa. Nesse momento, observou-se aceitação e interesse dos membros com relação ao trabalho apresentado.

Através desses procedimentos, pode-se perceber que o setor de construção de equipamentos é tratado como um setor estratégico, isto é, muitas das tecnologias e melhorias de processo obtidas pela empresa, passam pela evolução e aperfeiçoamento desse setor. Contudo, os gestores apresentam pontos críticos, conforme ilustrado nos quadros 2, 3, 4, 5 e 6.

Em linhas gerais, o setor é apresentado como uma parte estratégica da organização, que tem como principal objetivo estruturar novas tecnologias para que a empresa possa se sobressair em relação aos seus concorrentes. Além disso, em muitas situações, existe a necessidade de criação de equipamentos únicos e extremamente específicos e que dificilmente são encontrados no mercado.

As respostas apresentaram a visão dos gestores em relação ao processo atual de construção de equipamentos. Para isso, eles apresentaram fatores críticos que devem ser observados, como:

- a) Retrabalhos, deficiências em relação à sincronia entre as áreas;
- b) Necessidade de atingir níveis maiores de agilidade;
- c) A padronização e modularização são ineficientes ou praticamente nulos;
- d) Necessidade de medir e adicionar indicadores ao processo.

Indicadores para uma melhor avaliação desse setor e dos equipamentos construídos nele também apareceram como demandas necessárias, visto que, hoje, existem poucos indicadores nesse ambiente e, os indicadores que existem, na opinião dos gestores, não são

confiáveis. Todavia, apesar dessa demanda aparecer como evidência, eles entendem que é difícil encontrar ou criar indicadores, tanto qualitativos como quantitativos, para esse ambiente, e sugerem a busca e estudo de novos indicadores.

Quadro 2 - Representação das Respostas do Grupo 1 de Perguntas

		Grupo 1		
		Entrevistado A	Entrevistado B	Entrevistado C
<i>Avaliação sobre o Processo de Construção</i>	<p>“O processo de construção de equipamentos agrega valor para a empresa e apresenta pontos positivos, no entanto esse processo pode ser questionado e passar por uma análise mais profunda”</p>	<p>“Percebo uma grande evolução deste processo ao longo do tempo, mas ainda é deficitário em alguns aspectos, tais como: retrabalhos, demora na execução dos projetos, demora para as máquinas mais complexas trabalharem bem (temos muitas dificuldades na partida do equipamento e ajustes), documentação, comunicação entre áreas, treinamento de quem vai operar o equipamento, falta de tempo e espaço para testar os equipamentos fora da produção. Todavia, vejo uma evolução na complexidade do que projetamos/executamos, tendo em vista que são projetos únicos e sem referenciais no mercado, além de termos conquistado a credibilidade por parte da direção em função dos bons resultados obtidos, garantindo continuidade do processo de construção.</p> <p>Em linhas gerais vejo este processo como estratégico e necessário para o sucesso da empresa. Crescerá muito nos próximos anos”</p>	<p>“Atualmente o processo apresenta algumas deficiências em relação a sincronia das atividades com demais setores da fábrica (projeto, usinagem e compras), necessidades de retrabalho e ajustes são frequentes tanto na montagem na mecânica quanto no local definitivo, há necessidade de se fazer melhorias em relação a estes aspectos.”</p>	
<i>Necessidades</i>	<p>“Sim, precisamos melhorar a eficiência e a assertividade das tarefas.”</p>	<p>“Sim, necessita. Devemos aperfeiçoar o processo e, se possível, melhorar nossos tempos e produtividade para fazer mais com as mesmas pessoas e estrutura.”</p>	<p>“Sem dúvida, esse processo pode ser mais assertivo, aumentar a qualidade e de alguma forma diminuir o número de retrabalhos existentes.”</p>	

Princípios DFMA	<p>“Atualmente, de forma geral, pode-se considerar um nível muito básico ou inexistente em relação a padronização e modularização no que diz respeito a área de construção de equipamentos.”</p>	<p>“Acredito que numa fase intermediária. Vejo que muitas vezes cometemos o mesmo erro em diferentes projetos, pois falta uma análise crítica e falta de padrões. Ainda produzimos internamente componentes e sistemas que já estão disponíveis no mercado e poderiam facilmente ser incorporados ao projeto. Vejo que na área de projeto ainda damos soluções diferentes para os mesmos problemas dependendo de quem projeta.”</p>	<p>“A manufatura é vista de forma positiva, ou seja, apresenta um bom nível de evolução. Já a padronização e organização da área encontra-se em um nível regular. E a modularização é um conceito ainda pouco utilizado na construção de equipamentos.”</p>
Indicadores	<p>“Sim, seria muito bom poder ter um indicador confiável para avaliação deste setor.”</p>	<p>“Sim, hoje temos indicadores básicos tais como: custos e tempos de projeto/execução, mas ainda nos faltam indicadores qualitativos, como confiabilidade do equipamento, facilidade de manutenção, satisfação do operador, cumprimento aos objetivos de projeto (peças/hora, ciclo, tact time,...). Acredito que tenhamos que buscar parâmetros fora da empresa que possam nos balizar, pois não sabemos se os custos e tempos que investimos num projeto são satisfatórios.”</p>	<p>“Sim, temos necessidade de outros indicadores para gerenciamento deste setor.”</p>

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

No grupo 2 de questões, os pontos críticos observados foram:

- a) O conhecimento superficial da metodologia DFMA;
- b) O interesse em todas as partes na aplicação da metodologia, ou pelo menos o interesse em verificar os resultados da metodologia, através do teste promovido pelo presente trabalho;
- c) A boa aceitação para a implementação do método, além de demonstrarem apoio a implementação, desde que de uma maneira simples, para não se tornar apenas mais uma ferramenta que aumente a burocracia.

Quadro 3 - Representação das Repostas do Grupo 2 de Perguntas

Grupo 2			
	Entrevistado A	Entrevistado B	Entrevistado C
Nível Conhecimento	<i>“Sim, possuo alguma noção do assunto.”</i>	<i>“Sim, superficialmente.”</i>	<i>“Já ouvi falar, mas tenho um conhecimento básico sobre a metodologia.”</i>
	5	2	2
Opinião sobre a Metodologia	<i>“Contribui para definição de critérios e padrões para condução dos trabalhos assim como para componentes, subconjuntos ou equipamento, com isso é possível redução de tempo de projeto e execução em função da padronização ou da modularização. Os projetos ficam mais simples e elimina-se possíveis retrabalhos e erros pois as soluções que passam a ser adotadas já foram testadas em todas as etapas anteriormente.”</i>	<i>“Funciona e traz bons resultados a quem aplica.”</i>	<i>“A metodologia aparentemente é boa e pode entregar bons resultados a empresa.”</i>
Benefícios	<i>“De uma forma geral, redução nos custos gerais em função de redução dos tempos de projeto e execução, redução de retrabalhos em projeto e ajustes na montagem, redução de tempos de manutenção, padronização de componentes e consequentemente diminuição do inventário de peças.”</i>	<i>“Ganhos de produtividade, confiabilidade nos equipamentos e custos menores.”</i>	<i>“A metodologia pode trazer para a empresa a criação de um método consistente que auxilie de maneira simples projetos e a construção de equipamentos.”</i>
Apoio da Empresa	<i>“Acredito que sim, podemos ter bons ganhos.”</i>	<i>“Sim, acredito que traria melhorias.”</i>	<i>“Sim. Poderia trazer pontos positivos como, redução de custos, aumento de eficiência e qualidade etc.”</i>
	<i>“Imagino totalmente possível de fazer esta implementação. Apesar de ser uma mudança profunda de cultura na condução destas atividades, imagino que pelas possibilidades de ganho é um esforço válido de ser feito.”</i>	<i>“Sim, apoiaria.”</i>	<i>“Sim.”</i>
Custos e Organização	<i>“Com certeza, conforme comentado anteriormente.”</i>	<i>“Sim.”</i>	<i>“Sim, desde que seja criada de uma maneira simples e funcional.”</i>
	<i>“Acredito que sim.”</i>	<i>“Sim.”</i>	<i>“Sim, porém tem que ser muito bem elaborada para que seja efetivamente utilizada pelas pessoas envolvidas.”</i>

Base DFM ou DFA	<p>“O DFM agrega os princípios a serem utilizados na fase de projeto, e que facilitam o processo de fabricação dos produtos, já o DFA, que engloba os princípios a serem utilizados na fase de projeto do produto, que facilitam sua montagem, ambos se complementam (projeto e montagem) e a carência atual é de ambos.”</p>	<p>“No nosso caso acredito que ambas são necessárias, pois os processos são complementares.”</p>	<p>“DFM, pois talvez seja o ponto onde concentram-se os maiores custos para a construção de um equipamento.”</p>
-----------------	---	--	--

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Os quadros 4, 5 e 6 apresentam uma síntese das respostas das entrevistas, as quais foram a base de auxílio para a escolha dos processos de manufatura e montagem para a criação dos guias *DFMAfull* e *DFMAexpress*.

A escolha dos processos prioritários apresentados nos guias, foram obtidas juntando as respostas das entrevistas com a opinião do autor. O peso de pontuação do autor foi considerado duas vezes maior do que os pesos dos decisores da empresa. Essa pontuação maior, para o autor, foi definida baseada nas próprias entrevistas, nas quais os decisores enalteceram um conhecimento apenas básico sobre o assunto, e pelo fato de o autor ter ajustado os guias *DFMAfull* e *DFMAexpress*, conforme os testes da metodologia foram evoluindo.

Quadro 4 - Representação das Respostas do Grupo 3 de Perguntas

	A	B	C	Autor	Total
1) Diminuição no número de componentes;	7	8	8	14	37
2) Padronização;	8	7	7	10	32
3) Modularização;	6	6	6	6	24
4) Eliminar ajustes;	1	2	5	12	20
5) Montagem empilhada;	4	5	4	8	21
6) Facilitar alinhamentos;	2	4	3	16	25
7) Diminuir elementos de fixação;	3	3	2	4	12
8) Utilizar tolerâncias adequadas.	5	1	1	2	9

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Quadro 5 - Representação das Respostas do Grupo 3 de Perguntas

	A	B	C	Autor	Total
1) Solda;	1	3	3	4	11
2) Parafusos;	4	5	4	8	21
3) Porca-rebites;	5	4	1	6	16
4) Rebites;	2	1	2	2	7
5) Pré-encaixes.	3	2	5	10	20

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Quadro 6 - Representação das Respostas do Grupo 3 de Perguntas

	A	B	C	Autor	Total
1) Corte a laser;	7	5	7	14	33
2) Dobra;	5	7	6	8	26
3) Soldagem;	6	6	5	6	23
4) Torneamento;	4	4	4	12	24
5) Fresamento;	3	3	3	10	19
6) Eletroerosão;	2	2	2	4	10
7) Corte por eletro-fio.	1	1	1	2	5

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Como ponto chave para a elaboração dos critérios *DFMA*, chegou-se a uma das conclusões mais importantes para dar continuidade ao projeto: utilizar, sempre que possível, componentes comprados, pois, segundo um consenso entre o autor e os decisores, isso pode diminuir erros, acelerar o processo e deixar as pessoas técnicas envolvidas e focadas somente em componentes e conjuntos que realmente necessitam ser criados e desenvolvidos dentro da empresa.

Para os componentes e conjuntos que necessitam ser desenvolvidos dentro da organização, o consenso obtido foi balizar os esforços na diminuição dos tempos de manufatura e montagem, priorizando os critérios, processos de manufatura e montagem conforme apresentado adiante. Com relação aos critérios básicos do *DFMA*, definiu-se que os fatores de maior relevância devem seguir a ordem de classificação:

- a) Diminuição do número de componentes;
- b) Padronização;
- c) Facilitar alinhamentos;

- d) Modularização;
- e) Montagem empilhada;
- f) Eliminar ajustes;
- g) Diminuir elementos de fixação;
- h) Utilizar tolerâncias adequadas.

Para os critérios de priorização dos processos e manufatura, o guia para o *DFMA* deve seguir a priorização através do menor custo de fabricação, seguindo a ordem apresentada:

- a) Corte laser;
- b) Dobra;
- c) Torneamento;
- d) Soldagem;
- e) Fresamento;
- f) Eletro-erosão;
- g) Corte por eletro-fio.

Já a priorização dos processos de montagem e fixação devem seguir a classificação:

- a) Parafusos;
- b) Pré-encaixes;
- c) Porca-rebites;
- d) Solda;
- e) Rebites.

De maneira genérica, atribui-se que os equipamentos devem ter como base a utilização dos processos de corte a laser, torneamento, soldagem e fresamento, evitando a utilização dos outros processos, utilizando-os somente quando houver uma real necessidade ou exceção. Da mesma forma, os projetos de equipamentos devem estar providos de características de auto localização e priorizar seus elementos de fixação através de parafusos e pré-encaixes, deixando os outros elementos de fixação em segundo plano.

4.1.2 Desenvolvimento do *DFMA* com a coleta e estruturação de dados para análise

A aplicação do método conforme mostrado na figura 20, inicia-se nas fases de solicitação, análise de investimentos, aprovação para projeto e definição do conceito, através

da Matriz Morfológica. No entanto, para a realização desse trabalho, a partida do processo foi modificada, iniciando-se os estudos na etapa de análise *DFMA*, logo após a definição do conceito, visto que o teste da metodologia se dará em um projeto já existente, ou seja, não é necessário aprovação e definição de conceito, pois o conceito do equipamento já está criado.

4.1.2.1 Proposição da Matriz Morfológica

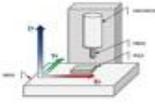
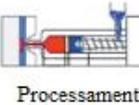
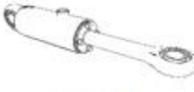
A partir da coleta e análise de parâmetros existentes para o desenvolvimento de equipamentos, na figura 23 está ilustrado um modelo simplificado de uma das quatro matrizes morfológicas que foram desenvolvidas para apoio ao *DFMA*, com a finalidade de auxiliar na conceituação de novos projetos, como recurso para compatibilizar criatividade e produtividade. Esse tipo de matriz será utilizado na forma de cartela, sempre que houver um novo projeto. A sua principal função será a definição de conceito inicial para que o projetista saia de uma primeira reunião de projeto com uma ideia bem constituída do equipamento, além de possuir a incumbência de deixar todos os membros participantes a par da situação, envolvendo a sua criatividade nesta etapa do processo, dado que a aplicação do *DFMA* passa a impor restrições, de forma a assegurar produtividade.

A criação dessas cartelas seguiu a classificação de famílias imposta através da figura 15, isto é, cada família tem uma cartela específica para que a discussão nas reuniões seja mais ágil e objetiva. A figura 23 apresenta a cartela proveniente da família máquinas, onde estão dispostas as principais opções de características necessárias para formar um equipamento da família máquina.

As linhas e colunas do modelo de matriz representam, respectivamente, as características principais do equipamento e as opções disponíveis. As linhas representam de cima para baixo:

- a) Tipo ou subfamília da máquina;
- b) Tipos de acionamentos disponíveis;
- c) Opções de elementos estruturais para a elaboração da estrutura do equipamento;
- d) Opções de elementos de transmissão;
- e) Opções de elementos de fixação.

Figura 23 - Representação da Matriz Morfológica

Matriz Morfológica (Familia Máquinas)				
Opções / Parâmetros	Opção 1	Opção 2	Opção 3	Opção 4
Subfamilia	 Usinagem	 Automações e Robôs	 Processamento Polímeros	 Fornos e Estufas
Acionamentos	 Elétrico	 Hidráulico	 Pneumático	 Manual
Estrutura	 Perfil Alumínio	 Tubo Aço Carbono	 Cantoneiras	 Tubo Aço Inoxidável
Elementos de transmissão	 Corrente	 Fuso	 Cardan	 Engrenagem
Elementos de Fixação	 Parafusos	 Rebite	 Porca-Rebite	 Solda

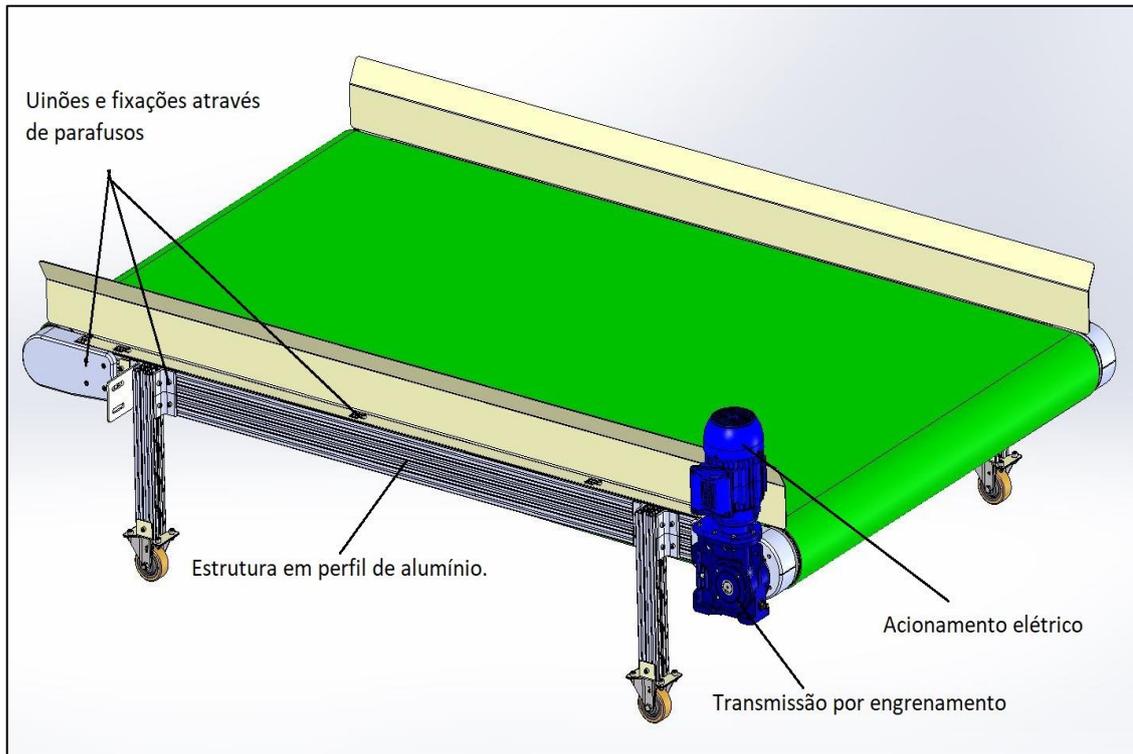
Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

A figura 24 apresenta de forma sucinta um exemplo de aplicação da matriz morfológica criada. Essa matriz foi utilizada em um equipamento desenvolvido durante o trabalho e possibilitou a realização de um teste da matriz.

Esse equipamento teve suas principais funções já definidas na reunião inicial, deixando a cargo do projetista apenas cumprir o estabelecido que foram: desenvolver um equipamento da subfamília automações, com acionamentos elétricos, utilizando estrutura básica em perfil de alumínio, elementos de transmissão através de engrenagens e empregando parafusos para fixação dos componentes.

Através desse teste, foi possível perceber que a matriz morfológica pode sim auxiliar os projetos em fases iniciais, deixando todos os membros envolvidos com o projeto bem informados e ainda proporcionando o envolvimento de todos na tomada de decisões, principalmente as decisões iniciais e criativas.

Figura 24 – Exemplo de Utilização da Matriz Morfológica.



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

4.1.2.2 Aplicação e análise de mudanças a partir dos Princípios de *DFMA*

Para o desenvolvimento do estudo de *DFMA*, aplicando os princípios e coletando dados para análise, a coleta de dados dos projetos foi realizada, através da análise de dois equipamentos: um de alta e outro de baixa complexidade já existentes, com a intenção de testar a metodologia. Nessa análise, foram utilizados dados reais desses equipamentos, onde eles basicamente demonstraram, em números, como estava o *status* e a eficiência dos projetos se compararmos os mesmos com a teoria *DFMA*.

Em posse dessa análise, os dois projetos foram refeitos. A revisão dos projetos com a aplicação do *DFMA* foi realizada em 3 meses, com a utilização do *software Solidworks*, com a participação do autor e toda a equipe de construção de equipamentos envolvida na montagem e manufatura, com a aplicação dos princípios elencados no Apêndice B e Apêndice C, para o *DFMA Full* e *DFMA Express*, seguindo as orientações gerais propostas pela metodologia, em conjunto com as sugestões provindas dos critérios de *DFMA* estabelecidos por esse trabalho, visando atender às necessidades da empresa.

Nos Apêndices B e C, estão apresentados em detalhes, quais os critérios utilizados para guiar, e entregar sugestões ao projetista, que teve a missão de refazer os projetos dos equipamentos, seguindo as orientações da metodologia.

Para efeito de estrutura de apresentação deste projeto, optou-se por primeiramente apresentar os resultados globais nesta seção, comparando os projetos antes e após o *DFMA*, uma vez que o projeto inicia com a análise da situação dos projetos atuais, estando as mudanças técnicas via *DFMA* reportadas na seção 4.1.3.3 (resultados qualitativos), pois compreendem tanto os resultados, quanto elementos de histórico do processo de implementação.

Os dados antes e pós *DFMA* foram comparados conforme os três grupos de indicadores apresentados na seção do método. Em relação à estruturação dos dados, os quadros 7 e 8 apresentam os dados obtidos durante a análise dos projetos já existentes, juntamente com os dos provenientes dos novos projetos. Em relação aos indicadores selecionados, a elaboração dos indicadores presentes nos quadros 7 e 8 foi feita através da escolha de indicadores que se apresentaram importantes para a empresa e por indicadores que normalmente são utilizados pela metodologia *DFMA*.

Com relação à fonte dos dados, nos quadros 7 e 8, os dados estão divididos em colunas, onde as colunas abaixo do projeto atual representam os dados reais provenientes dos projetos já existentes na empresa, e os dados presentes nas colunas do reprojeto, representam os dados e resultados obtidos após a realização dos testes de aplicação da metodologia. Os dados dos projetos já existentes são resultados históricos reais, retirados do sistema da empresa, obtidos durante a construção desses equipamentos, diferentemente dos dados do reprojeto, que foram elaborados através de dados reais juntamente com estimativas, já que os equipamentos foram apenas reprojeto e analisados sem serem construídos durante o presente estudo. Desta forma, os resultados obtidos através de estimativas são os dados dos grupos 2 e 3 dos quadros, pois, conforme já comentado, a manufatura e montagem dos equipamentos não foi realizada. Quanto aos resultados obtidos no grupo 1, pode se dizer que eles são reais. Nas linhas finais desses quadros, estão representados os custos totais, ou seja, uma mescla de dados reais com estimativas para obtenção do custo total.

Em relação às comparações, nos quadros 7 e 8, as linhas destacadas em amarelo evidenciam quais os indicadores mais importantes de cada projeto. Já nas colunas de diferenças em %, as células na cor em azul indicam que houve uma melhora através da aplicação da metodologia; e, as células na cor vermelha indicam que não foi possível melhorar o indicador durante os testes aplicados. Para o quadro 7, que corresponde aos indicadores do equipamento

de alta complexidade, vale ressaltar que todos os indicadores obtiveram dados positivos se comparados ao projeto antigo.

Em relação aos achados com a aplicação do *DFMA*, no grupo 1 de indicadores, é possível destacar a redução de quantidade de itens, a redução na quantidade de peças produzidas internamente e o aumento dos itens padronizados e comprados. A diminuição dos itens produzidos dentro da empresa tem uma relação direta com o aumento de itens comprados, isto é, muitos componentes deixaram de ser elaborados na empresa e passaram a ser comprados. Esse procedimento está completamente alinhado aos objetivos do trabalho, pois a compra de itens pode acelerar o processo de concepção de um equipamento.

Quadro 7 - Representação dos dados do projeto de alta complexidade

Indicadores		Projeto Atual		Reprojeto		Diferença em (%)	
		Itens	Peças	Itens	Peças	Itens	Peças
Grupo 1 - Projeto	Qtde de parafusos e porcas	28	1803	25	1254	-10,7%	-30,4%
	Qtde de peças cortadas em laser	94	364	125	534	33,0%	46,7%
	Qtde de peças fresadas	163	565	115	421	-29,4%	-25,5%
	Qtde de peças cilíndricas	42	486	39	445	-7,1%	-8,4%
	Qtde de subconjuntos soldados	7	14	5	10	-28,6%	-28,6%
	Qtde de itens padronizados	42	151	65	198	54,6%	31,1%
	Qtde de itens comprados	92	310	120	387	30,4%	24,8%
	Qtde total de peças e itens comprados	514	3589	358	2745	-30,4%	-24,5%
	Qtde de subconjuntos	92	180	80	155	-13,0%	-13,9%
	Tempo do total de projeto (horas)	190,86		115,5		-39,5%	
Custo total de projeto (R\$)	R\$ 22.903,20		R\$ 13.860,00		-39,5%		
Grupo 2 - Manufatura	Tempo total de usinagem (horas)	357,87		245		-31,5%	
	Tempo total de corte laser (horas)	9,54		10,04		5,2%	
	Tempo total de soldagem (horas)	85,89		73,45		-14,5%	
	Tempo total de dobras (horas)	23,86		8,54		-64,2%	
	Tempo total de manufatura (horas)	477,16		337,03		-29,4%	
	Custo total de manufatura (R\$)	R\$ 57.259,20		R\$ 40.443,60		-29,4%	
Grupo 3 - Montagem	Tempo teórico de montagem (segundos)	10767		8235		-23,5%	
	Tempo total de montagem (segundos)	1.030.671,30		115290,00		-88,8%	
	Tempo total de montagem (horas)	286,30		32,025		-88,8%	
	Índice <i>DFA</i>	1,04%		7,14%		6,1%	
	Custo total de montagem (R\$)	R\$ 34.355,71		R\$ 3.843,00		-88,8%	
Custo Total	Custo total de itens comprados (R\$)	R\$ 100.441,93		R\$ 125.435,00		24,9%	
	Custo total de matéria prima (R\$)	R\$ 150.662,90		R\$ 112.367,50		-25,4%	
	Custos diversos (R\$)	R\$ 6.481,56		R\$ 2.134,70		-67,1%	
	Custo total (R\$)	R\$ 372.104,50		R\$ 298.083,80		-19,9%	

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Outro indicador a ser evidenciado, apresentado no grupo 1 de indicadores, foi o aumento de itens padronizados, que também é um critério importante estabelecido no *checklist* do Apêndice B. Para finalizar, na avaliação do grupo 1, é importante salientar que houve uma redução 39,5% no tempo e custo de projeto.

Nos grupos 2 e 3, que apresentam respectivamente os indicadores de manufatura e montagem, nesses dois grupos a redução de custos entregue foi de 29,4% e 88,8%, respectivamente.

Por fim, como avaliação final do projeto, obteve-se uma redução de R\$ 74.020,70: o que representa 19,9% do custo total do equipamento, e ainda entrega um aumento no custo total de itens comprados, evidenciando ainda mais o fato do projeto estar utilizando mais componentes comprados, a fim de atender os critérios do Apêndice B.

Este indicador está abaixo dos 45% identificado na literatura e apresentado através da figura 7 em função de projeções mais conservadoras, e pelo fato dos projetos aqui estudados terem diversos níveis de complexidade e uma alta diversidade, aliados ainda a uma aplicação sem a utilização de *softwares* e com uma intensidade de aplicação menor, visto que, aplicação mais profunda nessa alta diversidade acarretaria em um alto tempo na fase de projeto.

Quadro 8 - Representação dos dados do projeto de baixa complexidade

Indicadores		Projeto Atual		Reprojeto		Diferença em (%)	
		Itens	Qtde	Itens	Qtde	Itens	Qtde
Grupo 1 - Projeto	Qtde de parafusos e porcas	7	159	5	180	-28,6%	13,2%
	Qtde de peças cortadas em laser	13	57	12	48	-7,7%	-15,8%
	Qtde de peças fresadas	37	50	33	44	-10,8%	-12,0%
	Qtde de peças cilíndricas	7	20	7	20	100,0%	100,0%
	Qtde de subconjuntos soldados	2	3	2	3	100,0%	100,0%
	Qtde de itens padronizados	4	33	4	33	100,0%	100,0%
	Qtde de itens comprados	11	45	12	46	9,1%	2,2%
	Qtde total de peças e itens comprados	82	331	75	315	-8,5%	-4,8%
	Qtde de subconjuntos	9	10	9	10	100,00%	100,0%
	Tempo do total de projeto (horas)	19,86		16,53		-16,8%	
Custo total de projeto (R\$)	R\$	2.383,20	R\$	1.983,60	-16,8%		
Grupo 2 - Manufatura	Tempo total de usinagem (horas)	33,3		29,54		-11,3%	
	Tempo total de corte laser (horas)	0,55		0,52		-5,5%	
	Tempo total de soldagem (horas)	3,67		3,67		100,0%	
	Tempo total de dobras (horas)	0		0		0	
	Tempo total de manufatura (horas)	37,52		34,12		-9,1%	
	Custo total de manufatura (R\$)	R\$	4.502,40	R\$	4.094,40	-9,1%	
Grupo 3 - Montagem	Tempo teórico de montagem (segundos)	993		945		-4,8%	
	Tempo total de montagem (segundos)	49.212		45540		-7,5%	
	Tempo total de montagem (horas)	13,67		12,65		-7,5%	
	Índice DFA	2,02%		2,08%		0,06%	
	Custo total de montagem (R\$)	R\$	1.640,40	R\$	1.518,00	-7,5%	
Custo Total	Custo total de itens comprados (R\$)	R\$	2.187,32	R\$	2.354,12	7,6%	
	Custo total de matéria prima (R\$)	R\$	1.343,43	R\$	1.129,87	-15,9%	
	Custos diversos (R\$)	R\$	345,65	R\$	236,89	-31,5%	
	Custo total (R\$)	R\$	12.402,40	R\$	11.316,88	-8,8%	

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

O quadro 8 demonstra um comportamento parecido do equipamento de baixa complexidade com relação ao equipamento anterior, porém com dados menos expressivos.

Nesse equipamento, alguns indicadores se mantiveram estáveis, se comparados aos indicadores do projeto original e dois deles obtiveram resultados contrários do que fora proposto na metodologia. No entanto, esses fatos podem ser explicados. No primeiro caso de insucesso, a quantidade de parafusos e porcas aumentou, pois conforme apresentado nas figuras 45, 46 e 47, o equipamento foi modificado, passando a ter fixações por meio de parafusos, juntamente com o instrumento de auto localização ao invés da união por meio do processo de solda.

Já no segundo ponto, aparentemente negativo, houve uma diminuição no número de itens comprados, pois, em alguns casos, através da transformação de vários componentes em uma única peça, conforme mostra as figuras 49 e 50, componentes comprados deixaram de ser utilizados - fato que não ajudou no aumento na quantidade de peças produzidas internamente.

Por fim, vale ressaltar que, no contexto final do equipamento de baixa complexidade, obteve-se uma redução de 8,8% no custo do equipamento, o que representa um valor total de R\$ 1.085,52.

4.1.3 Análise dos Resultados após aplicação do DFMA

Dando início a análise dos resultados, foi possível perceber que os dois projetos em estudo, tanto o de alta complexidade quanto o de baixa complexidade, apresentaram dados, princípios e escolhas que estavam distantes do que a metodologia *DFMA* defende.

Esse fato pode ser comprovado através dos gráficos representados pelas figuras 24 até 37, onde está ilustrado uma grande ausência de padronização e modularização, e uma inconsistência na escolha dos processos, já que alguns dos processos escolhidos muitas vezes não eram os adequados ou não eram os processos mais viáveis economicamente para empresa.

Os quadros 7 e 8 também remetem outro ponto crítico encontrado, que é o valor extremamente baixo do *DFAIindex*, tanto no projeto de alta como no de baixa complexidade. Esse baixo valor significa ineficiência no quesito montagem, isto é, devido a inúmeros problemas de projeto, os equipamentos possuem um tempo de montagem muito maior do que o ideal sugerido em teoria - que é em média 3 segundos por peça numa montagem manual (BOOTHROYD, DEWHURST e KNIGHT, 2011).

Todas as simulações que visaram entregar os dados para comparação, tanto do *DFMAfull*, quanto para o *DFMAexpress*, foram realizadas da seguinte forma.

- a) Análise do *DFAIindex*, dos dois projetos através da equação 1, com a intenção de identificar qual era o nível eficiência de montagem presente nos projetos;
- b) Para os indicadores referentes ao grupo projeto, foram utilizados dados reais obtidos a partir dos novos projetos ajustados ao *DFMA*;
- c) Para os indicadores referentes a manufatura, foram realizadas estimativas de tempos de processo, baseados na experiência do grupo técnico da empresa, auxiliado ainda pelos *softwares Edgcam e Solidworks*;
- d) Para os indicadores do grupo montagem, foram realizadas estimativas baseadas na experiência do corpo técnico da empresa e a apoiado pelas diretrizes gerais de desenho para montagem manual apresentadas por (BOOTHROYD, DEWHURST e KNIGHT, 2011).

4.1.3.1 Análise do Equipamento de Alta Complexidade

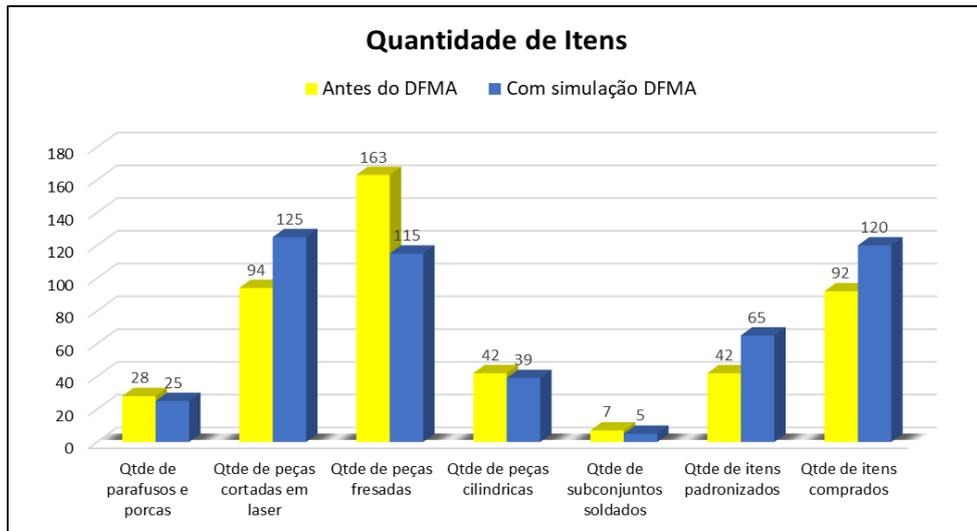
Ao se fazer uma análise mais detalhada e específica de cada equipamento, os gráficos das figuras 25, 26, 27, 28, 29, 30 e 31 apresentam detalhadamente os dados do equipamento de alta complexidade. Nesses gráficos, as colunas na cor amarela apresentam os dados do projeto antes da aplicação do *DFMA* e as colunas na cor azul são os dados apresentados após a aplicação da metodologia.

As figuras 25 e 26 apresentam a quantidade de itens e a quantidade de peças, respectivamente. Entende-se por quantidade de itens a coleção de componentes diferentes utilizados no equipamento; e a quantidade de peças como a quantidade de componentes totais, ou seja, a quantidade de itens multiplicado pelo número de vezes que cada um foi utilizado.

O gráfico da figura 25 apresenta a quantidade de itens separados por categorias, as quais representam os tipos de processos utilizados para fabricação do componente ou se o componente é um item comprado. Através desse gráfico, é possível perceber que a quantidade de itens antes da aplicação da metodologia não seguia a orientação ideal proposta pelo *checklist*, apresentados no Apêndice B, pois, segundo esse *checklist*, os equipamentos devem priorizar componentes comprados e, posteriormente, utilizar componentes que possam ser fabricados pela tecnologia de corte a laser.

Porém, nesse mesmo gráfico, após a aplicação do *DFMA*, foi possível notar uma pequena melhora nesses quesitos, mostrando uma aproximação melhor da escolha de processos, com relação ao que foi decidido e resumido através dos *checklists* dos Apêndices B e C.

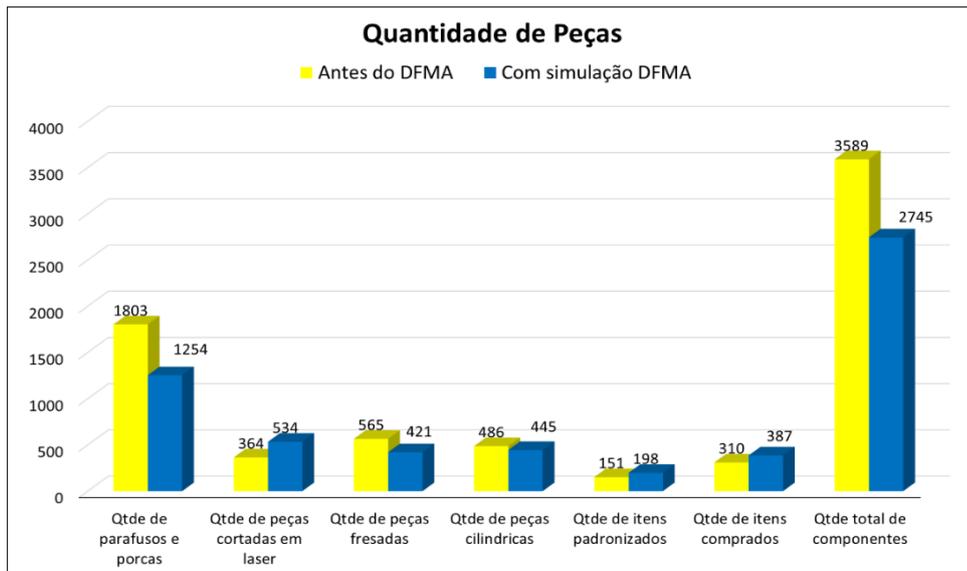
Figura 25 - Representação da Quantidade de Itens por Processo de Manufatura



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Já no gráfico da figura 26, a sua realidade remete um ponto de vista mais amplo, mostrando os itens na sua totalidade, apresentando um ponto positivo e um negativo do projeto. O ponto positivo é que existe uma priorização dos elementos de fixação através de parafusos e porcas, que é a primeira opção quando falasse em elementos de fixação, segundo o Apêndice B. Porém, como ponto negativo, ainda se evidencia a priorização dos processos através do fresamento, o que só reforça o que já havia sido apresentado no gráfico da figura 24.

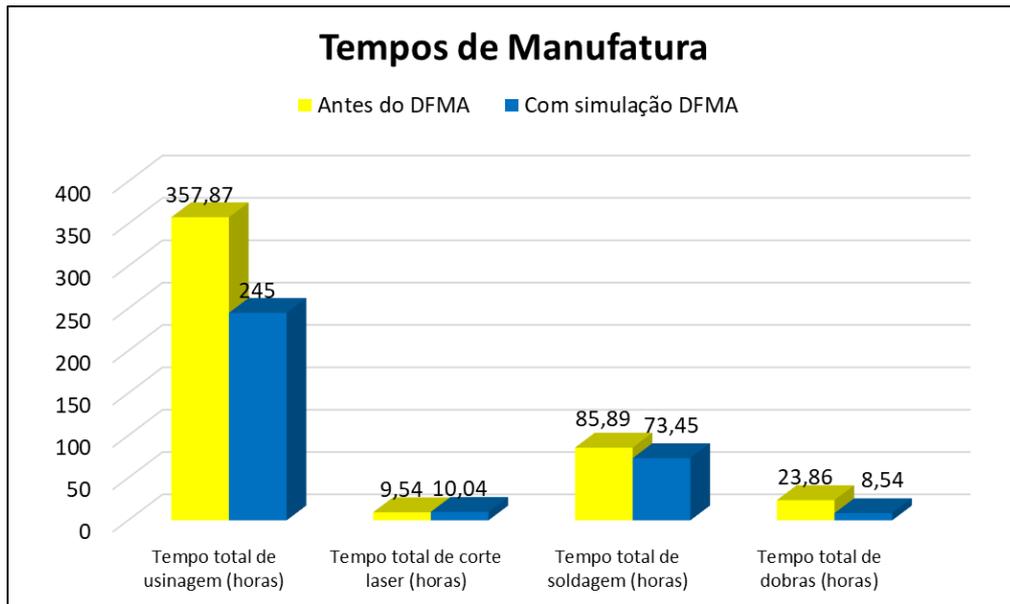
Figura 26 - Representação da Quantidade de Peças



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Através do gráfico da figura 27, é possível verificar uma incompatibilidade ainda maior no que se refere a priorização de processos de manufatura. Nesse gráfico, pode-se perceber uma grande utilização do tempo nas usinagens mais tradicionais, isto é, torneamento e fresamento, deixando de lado o processo de corte a laser - considerado a primeira opção para manufatura de peças segundo o *checklist*.

Figura 27 - Representação dos Tempos de Manufatura

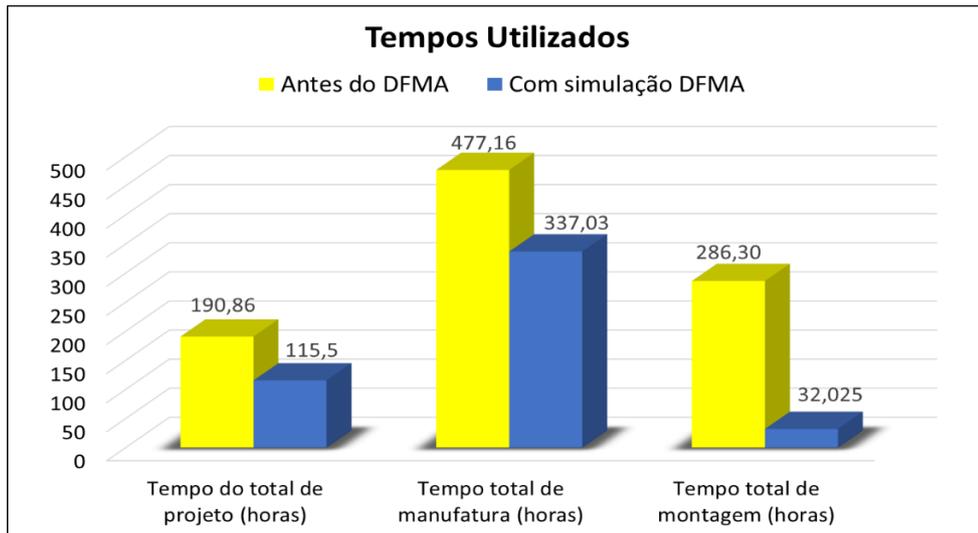


Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Na representação gráfica da figura 28, tem-se uma distinção de onde foi gasto o maior tempo para a concepção do equipamento, evidenciando que, no projeto já existente, o maior tempo gasto era nos processos de manufatura, seguido de montagem e projeto.

Com a realização dos testes de aplicação, pode-se perceber uma mudança nesses dados: diminuição significativa do tempo das três etapas e aumento do tempo total de projeto, diminuindo drasticamente o tempo de montagem, que é onde também estão contabilizados os ajustes e retrabalhos. Esses resultados vão diretamente de encontro ao que foi apresentado no capítulo 2, através da figura 7, que foi exibida por Boothroyd, Dewhurst e Knight (2011).

Figura 28 - Representação dos Tempos Utilizados

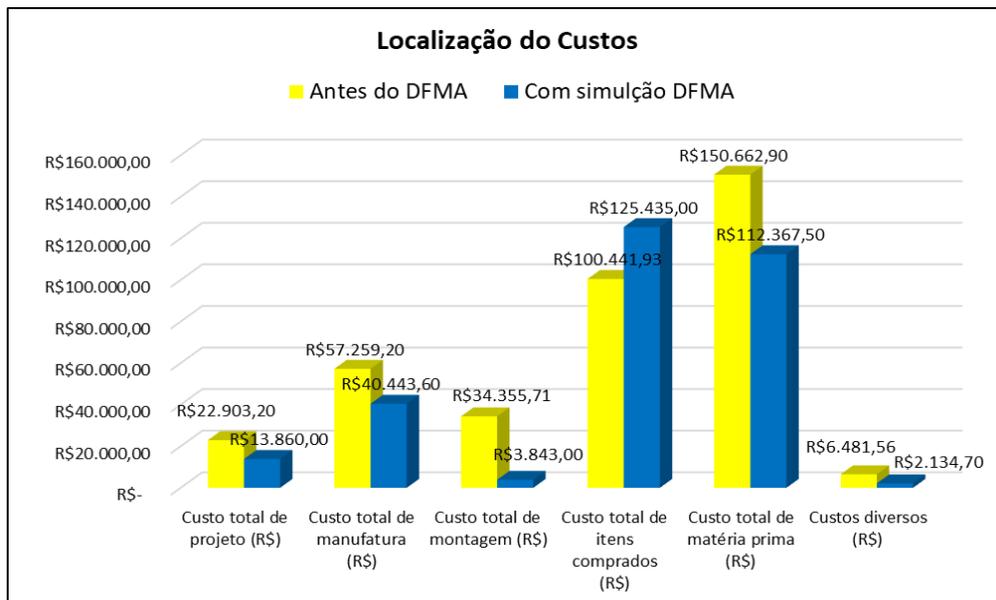


Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

A figura 29 é uma contribuição a mais no que diz respeito aos custos do equipamento, e mostra que os maiores custos para a concepção do equipamento anteriores à aplicação da metodologia estavam embutidos na matéria prima, nos componentes comprados e na manufatura, respectivamente.

Dados que também sofreram alterações após a realização dos testes, trazendo como pontos positivos a diminuição dos custos em todos os tipos de processo e o aumento do custo nos itens comprados, o que representa uma evolução no equipamento perante o que foi proposto, que era aumentar a parcela de componentes comprados.

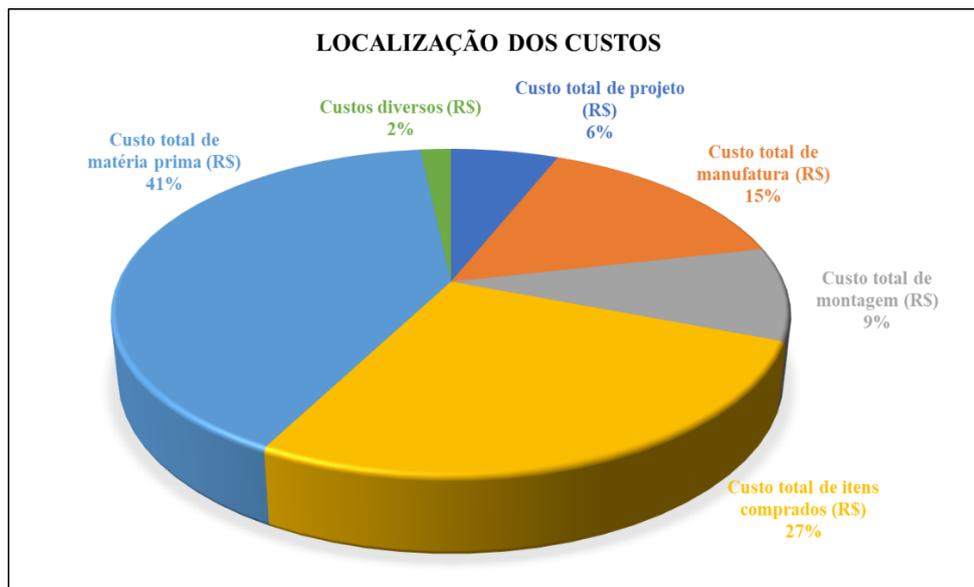
Figura 29 - Representação dos Custos



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

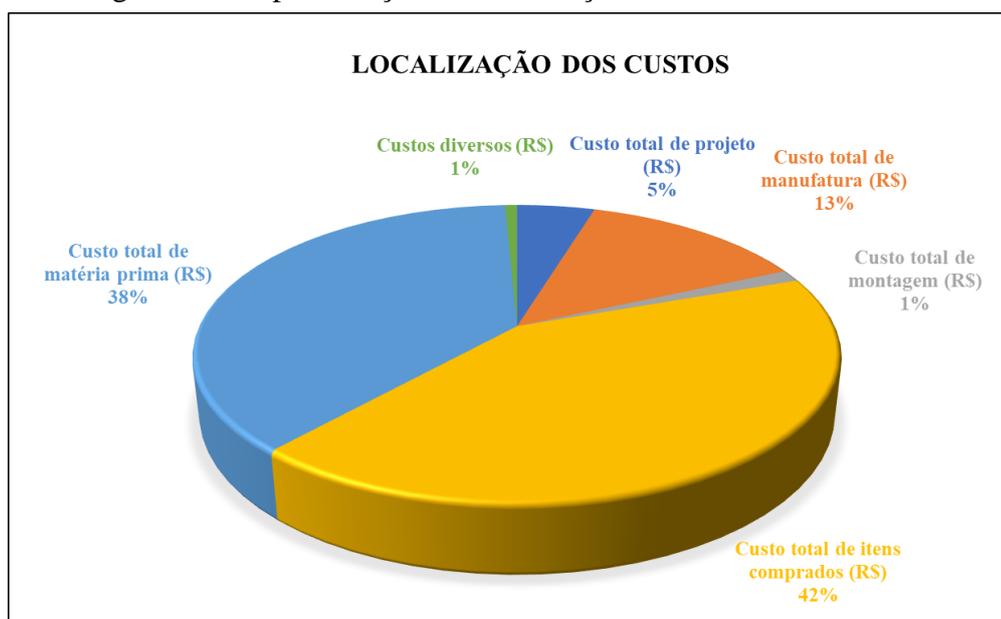
Por fim, os gráficos das figuras 30 e 31 apresentam como estavam dispostos, em porcentagem, os custos do equipamento de alta complexidade, antes e após a realização do teste da metodologia. Nesses dois gráficos é possível verificar que a disposição dos custos teve imigração da matéria prima, montagem e manufatura para o campo de componentes comprados, atendendo parcialmente um dos critérios definidos pelo *DFMA*, adaptado ao ambiente da empresa.

Figura 30 - Representação da Localização dos Custos sem *DFMA*



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Figura 31 - Representação da Localização dos Custos com *DFMA*

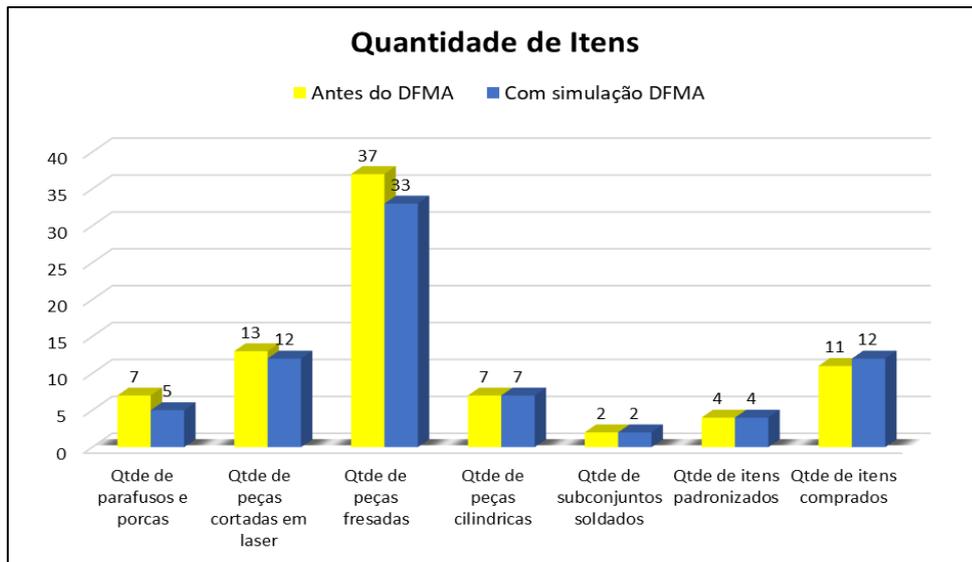


Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

4.1.3.2 Análise do Equipamento de Baixa Complexidade

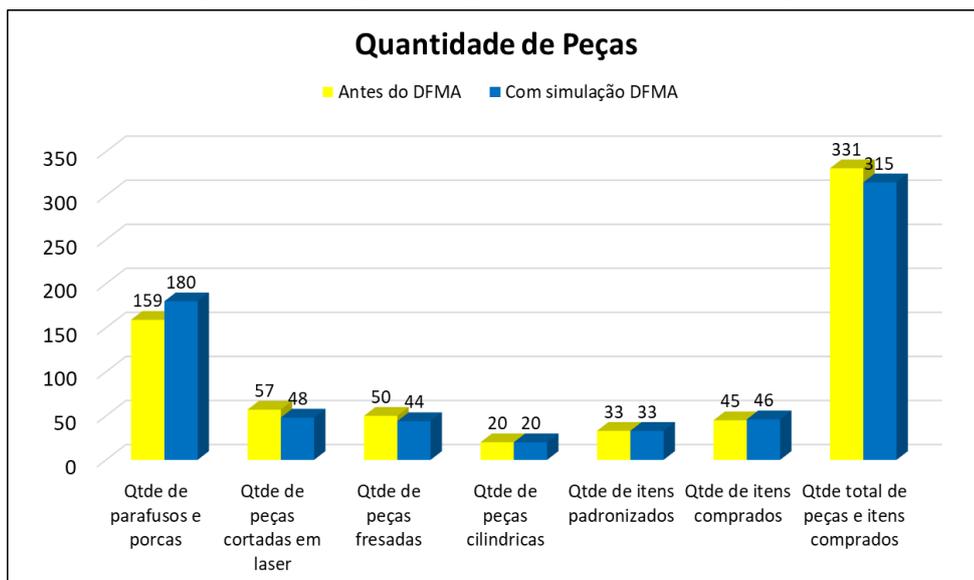
Para o equipamento de baixa complexidade, o que se percebe é um tipo de comportamento parecido ao do equipamento de alta complexidade com pequenas alterações e com uma alteração mais forte no gráfico da figura 36, onde os maiores custos estão localizados na manufatura, projeto e itens comprados, respectivamente.

Figura 32 - Representação da Quantidade de Itens



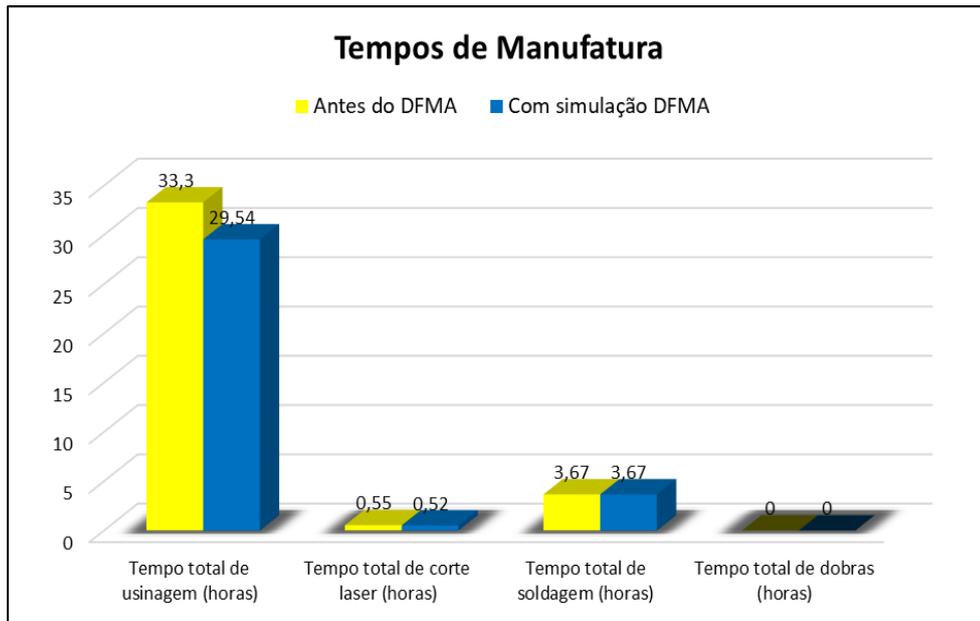
Fonte: Elaborado pelo autor (2018)

Figura 33 - Representação da Quantidade de Peças



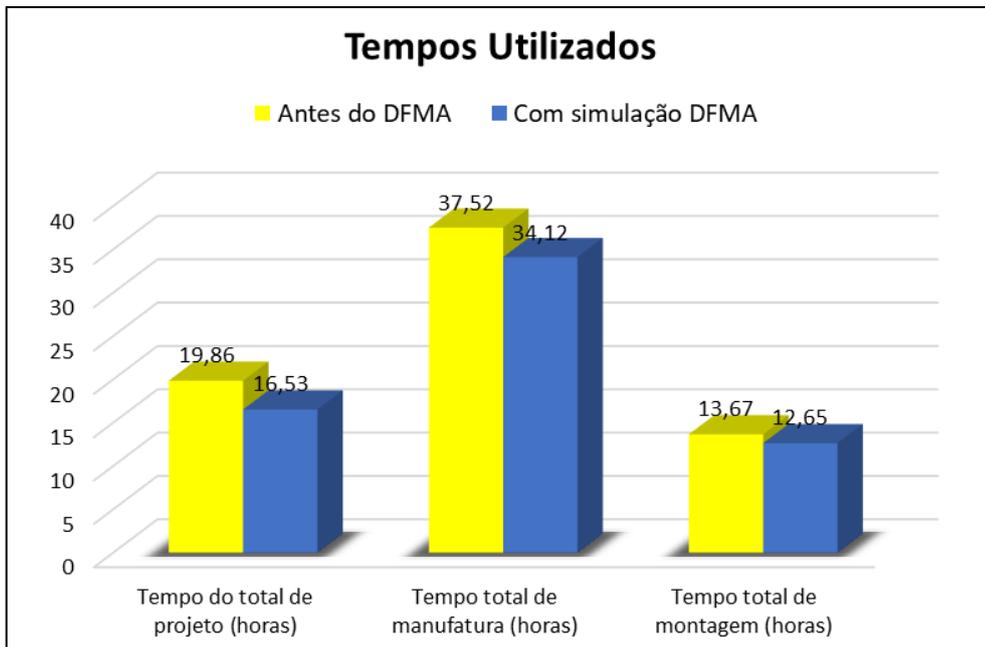
Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Figura 34 - Representação dos Tempos de Manufatura



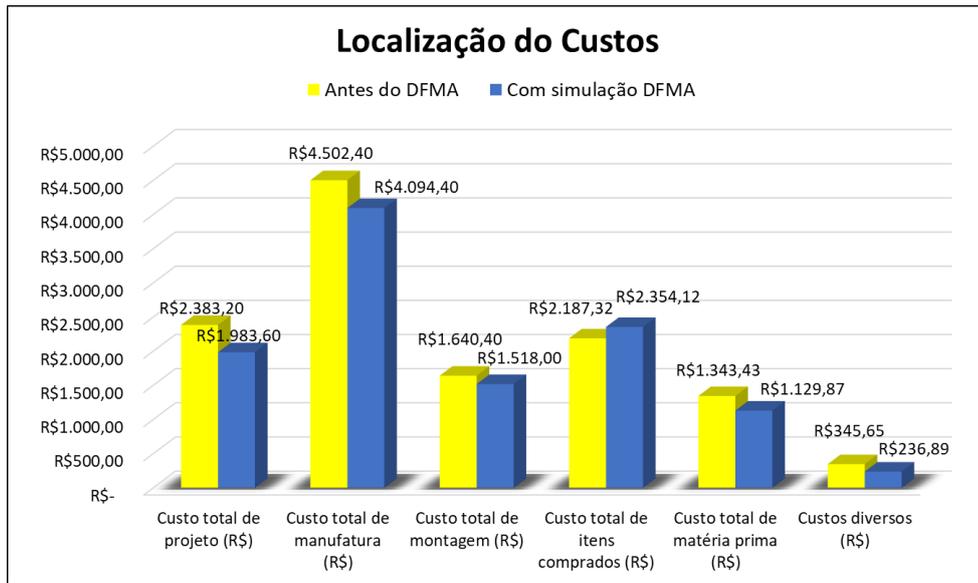
Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Figura 35 - Representação dos Tempos Utilizados



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

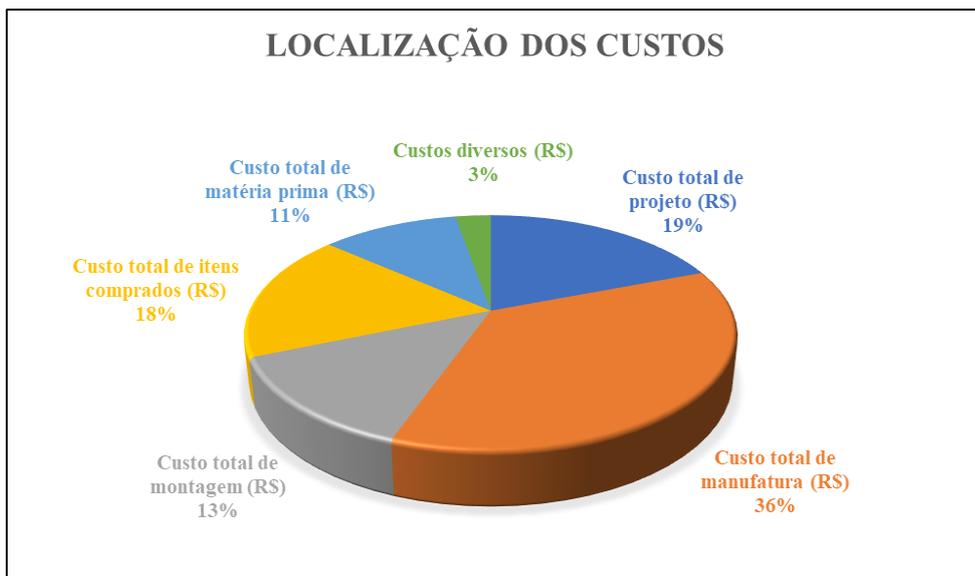
Figura 36 - Representação dos Custos



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

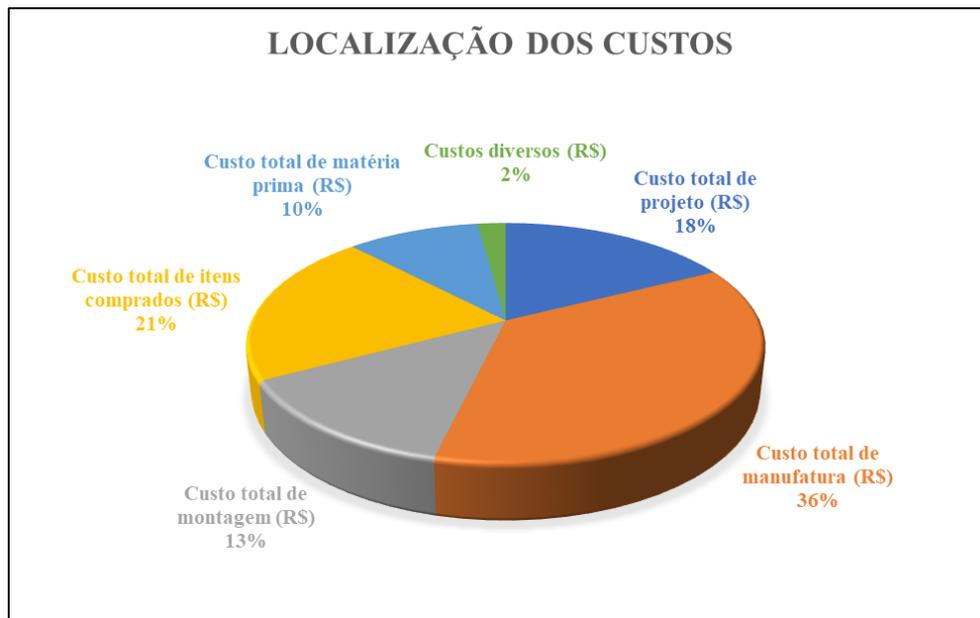
A localização dos custos no projeto de baixa complexidade também apresentou uma aproximação aos critérios definidos para a aplicação da metodologia. No entanto, nesse equipamento, conforme mostra os gráficos das figuras 37 e 38, essas alterações ocorridas após a aplicação do *DFMA* se apresentaram de forma menos significativa.

Figura 37 - Representação da Localização dos Custos sem *DFMA*



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Figura 38 - Representação da Localização dos Custos sem *DFMA*



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Os resultados obtidos no teste da metodologia *DFMAexpress*, para o equipamento de menor complexidade, trouxe resultados menos significativos que o *DFMAfull*, no entanto esse fato já era previsto, pois quanto menor o projeto, geralmente existe uma maior dificuldade para simplificá-lo e diminuir o número de componentes.

Porém, mesmo com esses dados menos significativos na aplicação do *DFMA* em equipamentos de baixa complexidade, é admissível afirmar que, num universo de muitos pequenos projetos, a metodologia pode trazer ganhos significativos, além de estar fomentando, exercitando e criando habilidades para que a cultura *DFMA* seja disseminada.

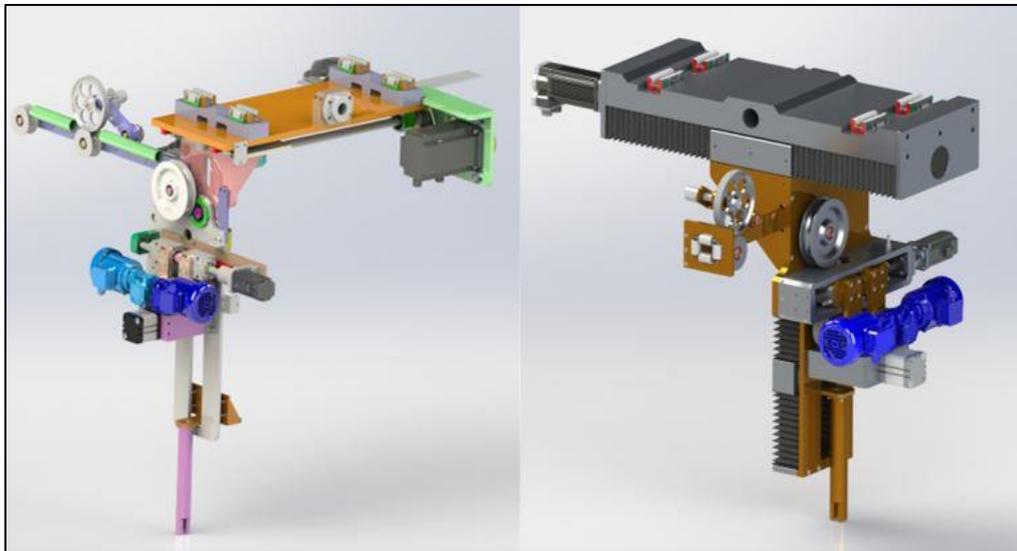
4.1.3.3 Resultados Qualitativos do *DFMAfull* e *DFMAexpress*

Com relação a aplicação dos modelos *DFMAfull* e *DFMAexpress*, pode-se afirmar que eles trouxeram, além de ganhos quantitativos, alguns ganhos qualitativos como: melhorias de acesso à manutenção de componentes, simplicidade, melhor aproveitamento de espaço e melhorias funcionais, através de leiautes mais otimizados, componentes mais bem assentados por meio de geometrias de auto localização, aumento na quantidade de conjuntos e componentes padronizados, aumento de itens comprados, dentre outras características previstas no método. Na sequência de figuras 39 até 44, estão apresentados alguns pontos de sucesso que o *DFMAfull* proporcionou ao equipamento de alta complexidade, evidenciando características

como: simplicidade, peças multifuncionais, características de auto localização, dentre outras melhorias provenientes do *DFMA*.

Na figura 39, estão representadas duas versões de uma parte do equipamento de alta complexidade. Essa figura mostra o antes e o depois do teste da metodologia. A diferença entre as imagens adiante é nítida e aparente - na imagem à direita o que se vê é um equipamento com menos peças e com estrutura mais simples, isto é, com menos componentes, porém com peças mais complexas, evidenciando principalmente o critério de criação de peças multifuncionais. A função principal desse subconjunto é crucial para o bom funcionamento do equipamento. Anteriormente, no estudo baseado no *DFMA*, a sua função era exercida com extrema competência, no entanto essa parte do equipamento trazia problemas estruturais, isto é, seguidamente havia troca de componentes e, em alguns momentos essa manutenção era realizada com muita dificuldade, devido à falta de padronização e ao grande número de componentes específicos e sem nenhuma característica de auto localização, que muitas vezes, aumentava o tempo de troca e reposição, pois existiam diversos procedimentos a serem feitos para conseguir manter um alinhamento aceitável para a operação do equipamento.

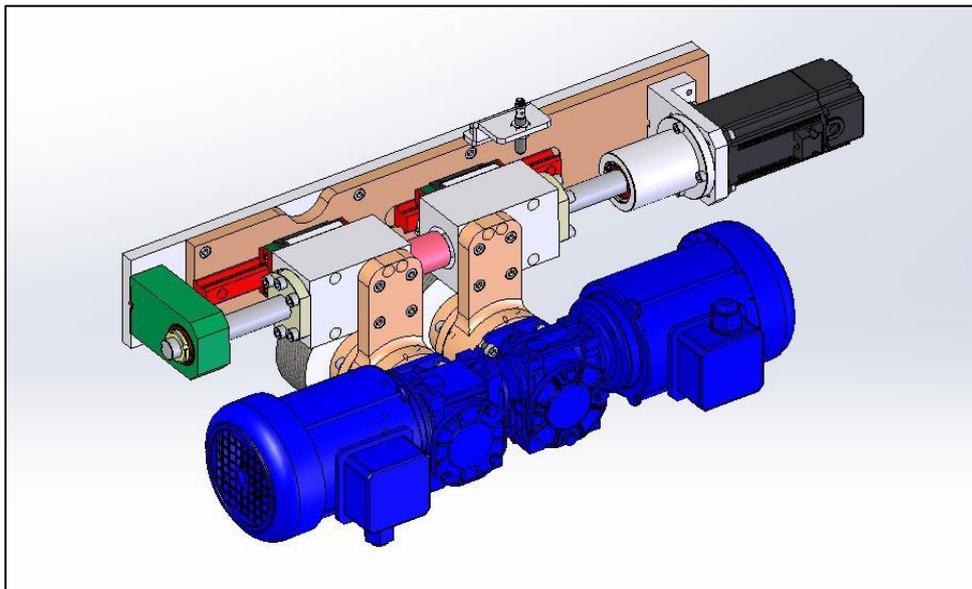
Figura 39 - Representação de duas Versões do Carro Principal com e sem o *DFMAfull*



Fonte: Acervo de imagens da empresa (2018).

Nas figuras 40 e 41 tem-se as imagens ampliadas de uma região do subconjunto apresentado na figura 39. Essa parte do equipamento teve uma diminuição significativa de componentes, tornando-a muito mais simples, com melhor aspecto visual e com uma maior utilização de componentes comprados e padronizados e que, possivelmente, trarão facilidades na manufatura das peças e em futuras manutenções.

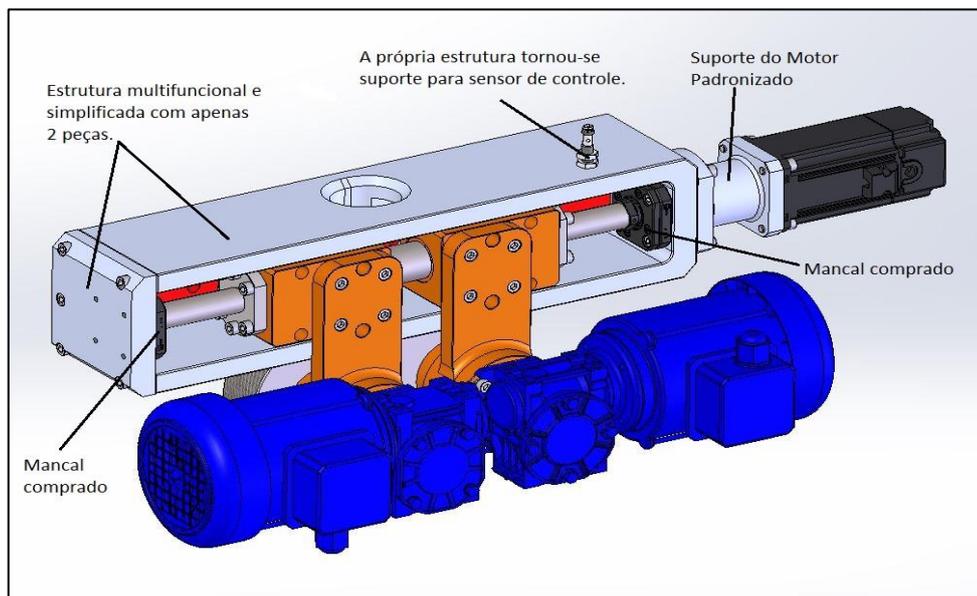
Figura 40 - Representação Parcial do Carro Principal



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

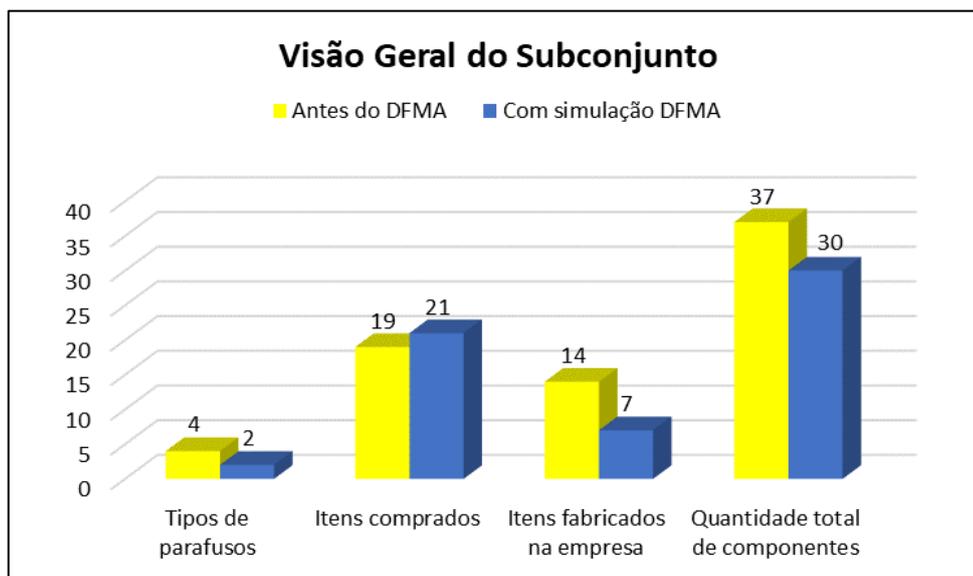
Na figura 41, algumas das melhorias mencionadas no parágrafo anterior estão indicadas para melhor entendimento das modificações. É válido ainda salientar que resultados positivos, como o aumento de componentes comprados, criação de peças multifuncionais, criação e utilização de itens padronizados foram extremamente utilizados nessa parte do equipamento e vão de encontro aos objetivos e critérios estabelecidos no guia *DFMAfull*. Maiores detalhes quantitativos e dados das reduções obtidas estão elencados através do gráfico presente na figura 42.

Figura 41 - Representação Parcial do Carro Principal com Aplicação do *DFMAfull*



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Figura 42 - Representação dos Dados de Parte do Carro Principal

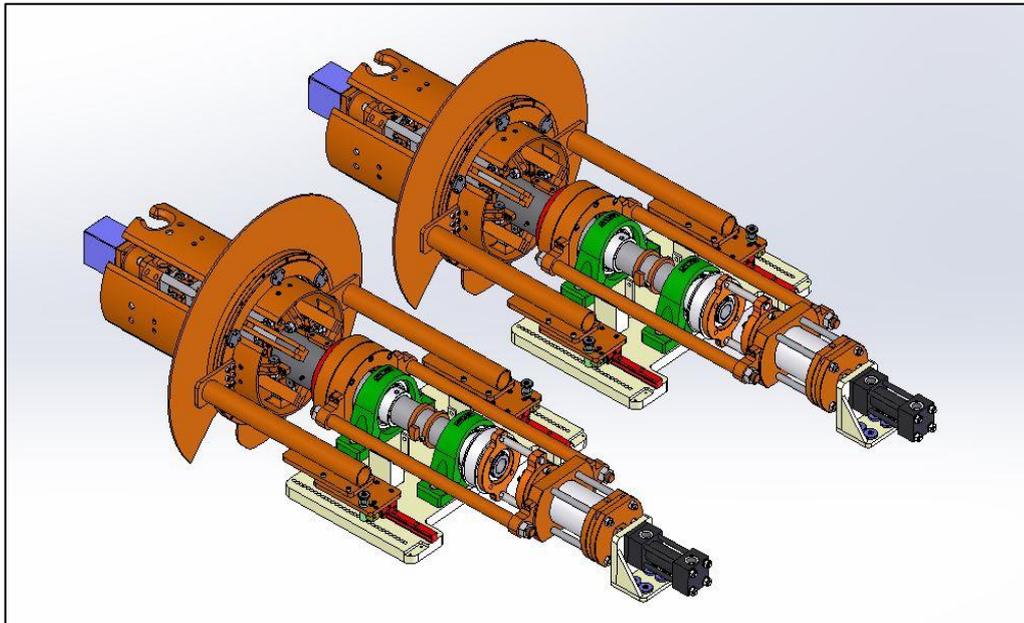


Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Outra parte do equipamento de alta complexidade, que merece ser exaltada devido às alterações trazidas pelo *DFMA*, está representado nas figuras 43 e 44. Nesse conjunto, os benefícios foram a diminuição de componentes, a inclusão de um sistema automático de movimentação, conforme apresentado na figura 44, a união dos dois mandris através de uma base principal e ainda melhorias em quesitos funcionais através de um melhor alinhamento de subconjuntos e componentes proporcionado por geometrias de auto localização padronizadas que foram também utilizadas no conjunto carro linear apresentado na figura 45.

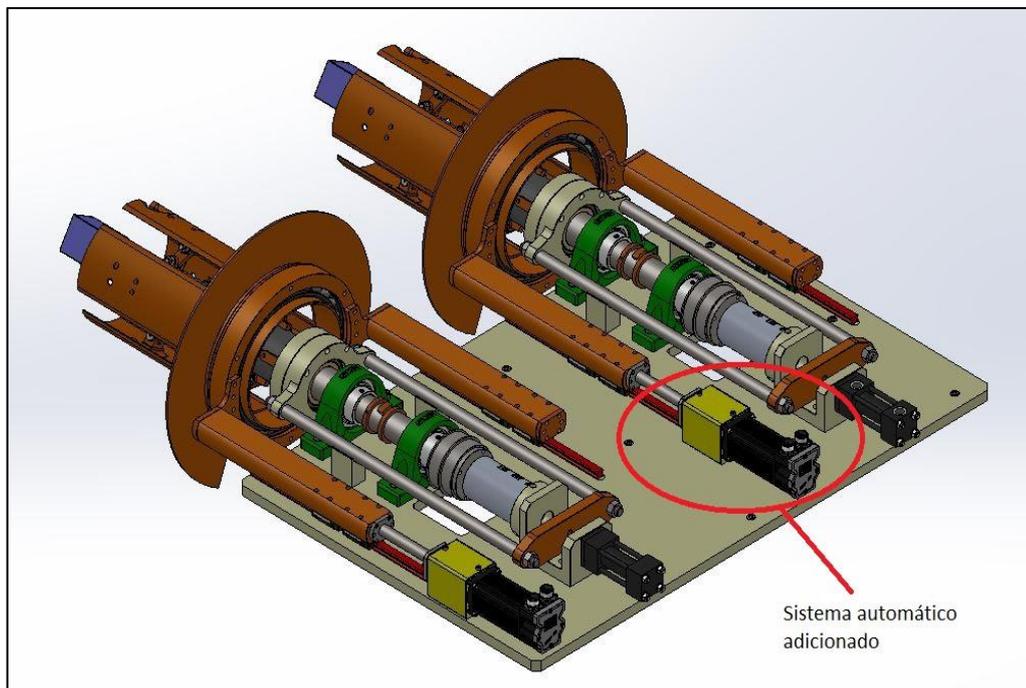
No caso específico da inclusão de um sistema automático de movimentação, vale ressaltar que, anteriormente ao teste do método, não era possível incluir essa tecnologia, pois havia limitações de espaço. No quesito quantidade de peças, esse conjunto sofreu uma leve diminuição, mesmo com a adição de funções.

Figura 43 - Representação dos Mandris Principais



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Figura 44 - Representação dos Mandris Principais com Aplicação do *DFMAfull*

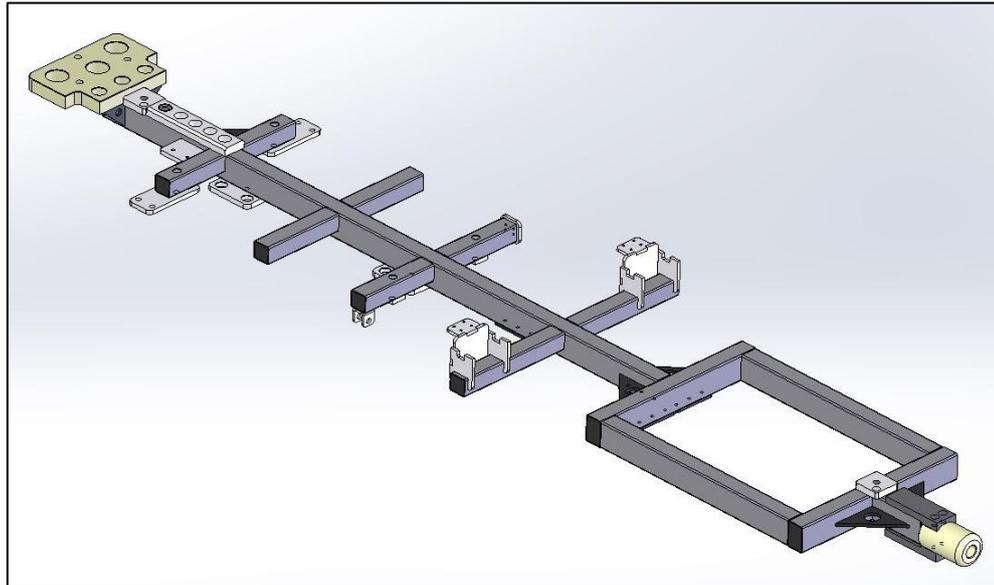


Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Para o equipamento de baixa complexidade, as melhorias qualitativas foram menos evidentes, porém interessantes. Na relação de figuras 45 até 51, estão ilustradas as pequenas melhorias implementadas no projeto de baixa complexidade.

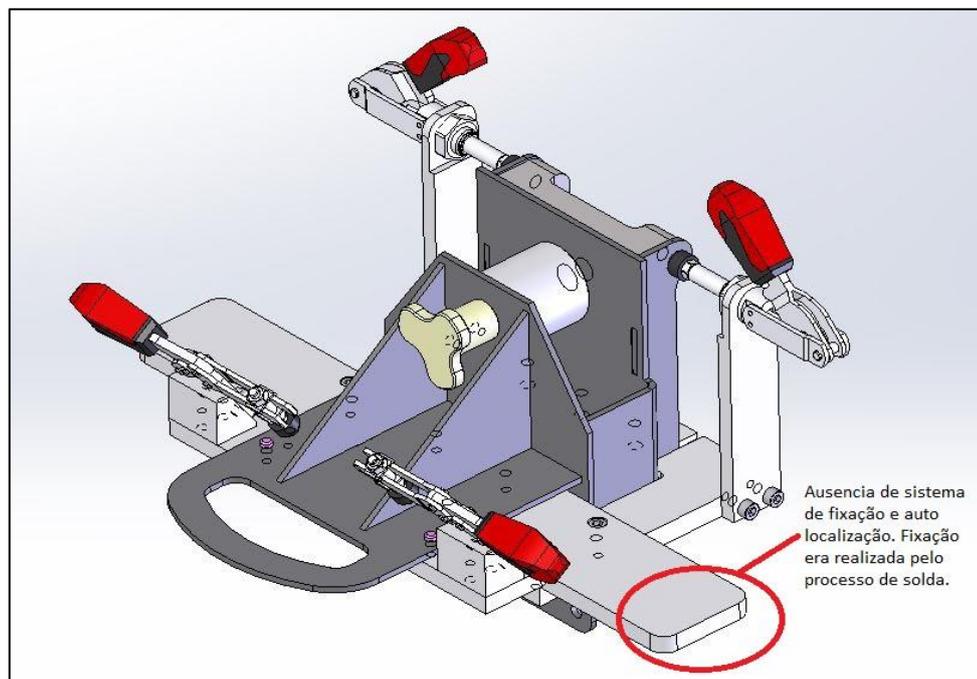
O primeiro ponto de melhorias foi a criação de peças padronizadas para a fixação dos gabaritos na base principal do conjunto. Nas figuras 45 e 46, é possível visualizar que, anteriormente à intervenção do *DFMAexpress* no projeto desse equipamento, não existiam sistemas de fixação para os gabaritos, fazendo com que eles fossem presos na base através do processo de solda.

Figura 45 - Representação da Base Principal



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

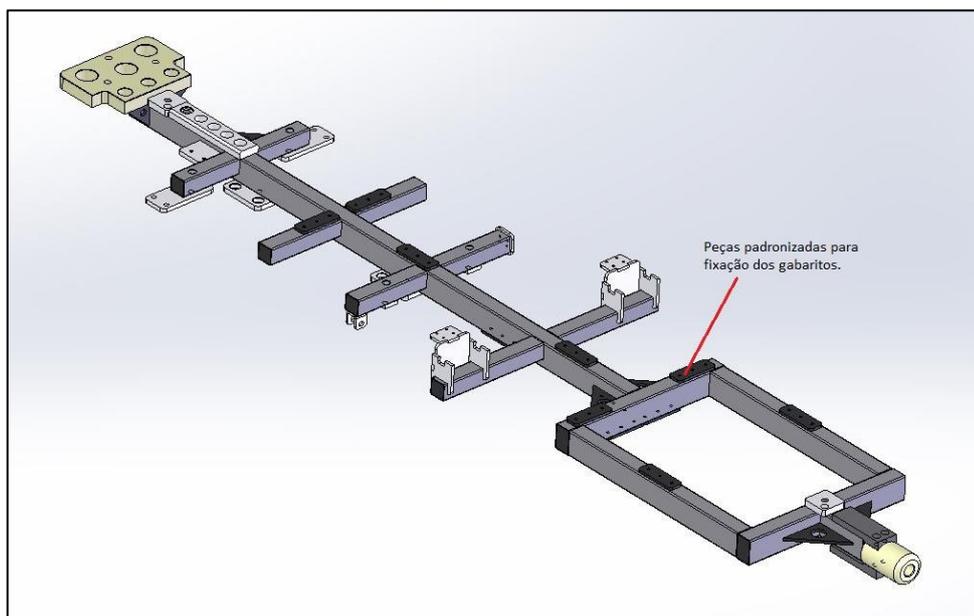
Figura 46 - Representação da Fixação Utilizada antes do *DFMAexpress*



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

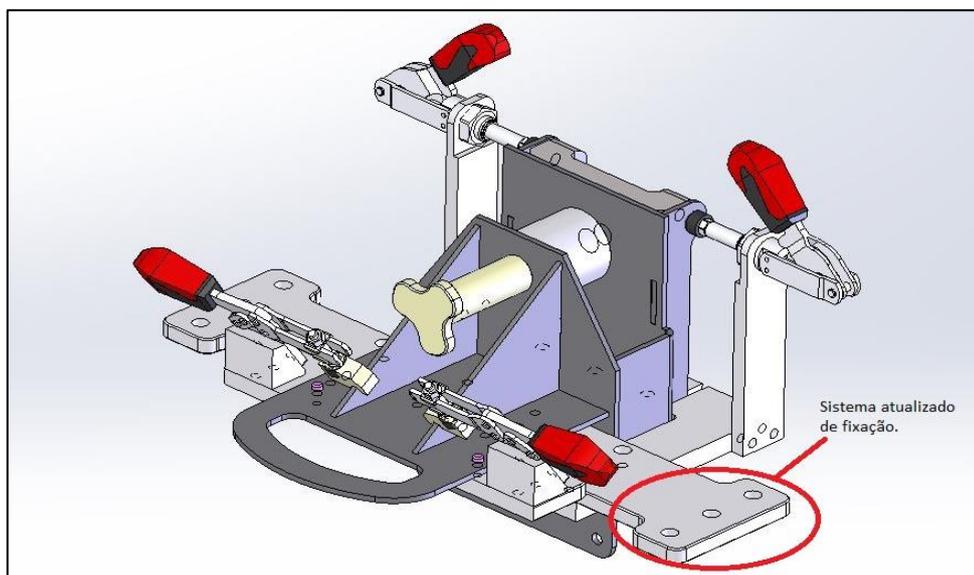
As figuras 47 e 48 apresentam as modificações realizadas após a utilização do *DFMAexpress*. Nelas podemos perceber a criação de pequenos componentes na forma de chapas retangulares soldadas a base do equipamento. Tais componentes receberam a função de fixar os gabaritos por meio de parafusos e servir como base de alinhamento e assentamento através de buchas de alinhamento, fazendo com que todo e qualquer gabarito possa ser fixado na base principal representada pela figura 47 da mesma forma. Na figura 48, estão representados os três furos de fixação que serão utilizados em todos os modelos de gabaritos.

Figura 47 - Representação da Base Principal com Aplicação do *DFMAexpress*



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

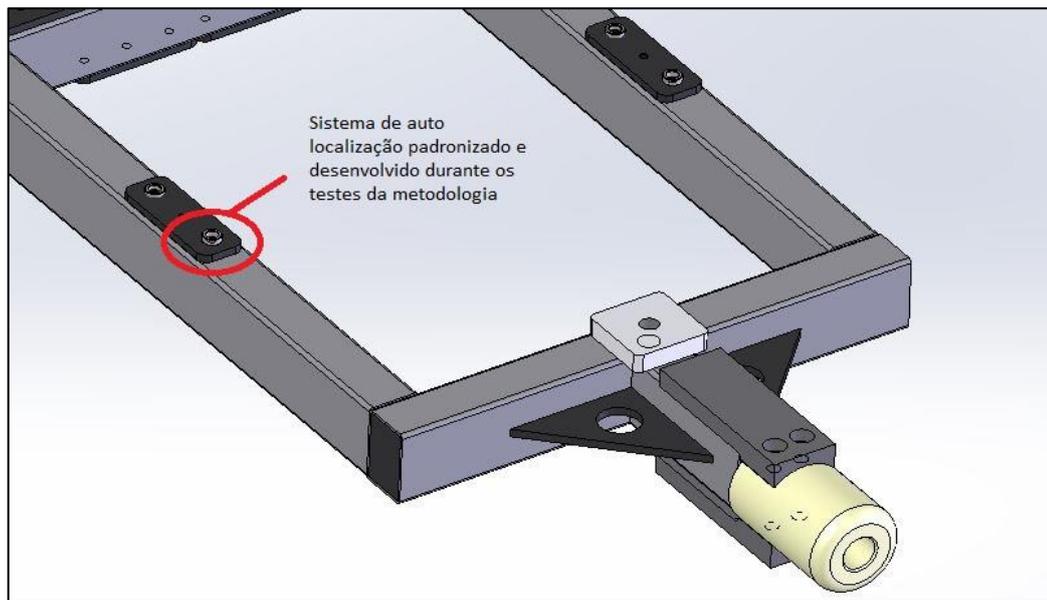
Figura 48 - Representação da Fixação Utilizada após Aplicação *DFMAexpress*



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Ainda sobre as melhorias idealizadas pela utilização do *DFMAexpress*, está representada através da figura 49 a utilização de um modelo de componente de auto localização padronizado, utilizado, também, no conjunto da figura 53. Esse procedimento possivelmente se tornará um sistema de auto localização, padronizado na concepção de equipamentos, visto que é um sistema simples e que consegue manter boas precisões dimensionais para a união de peças ou subconjuntos.

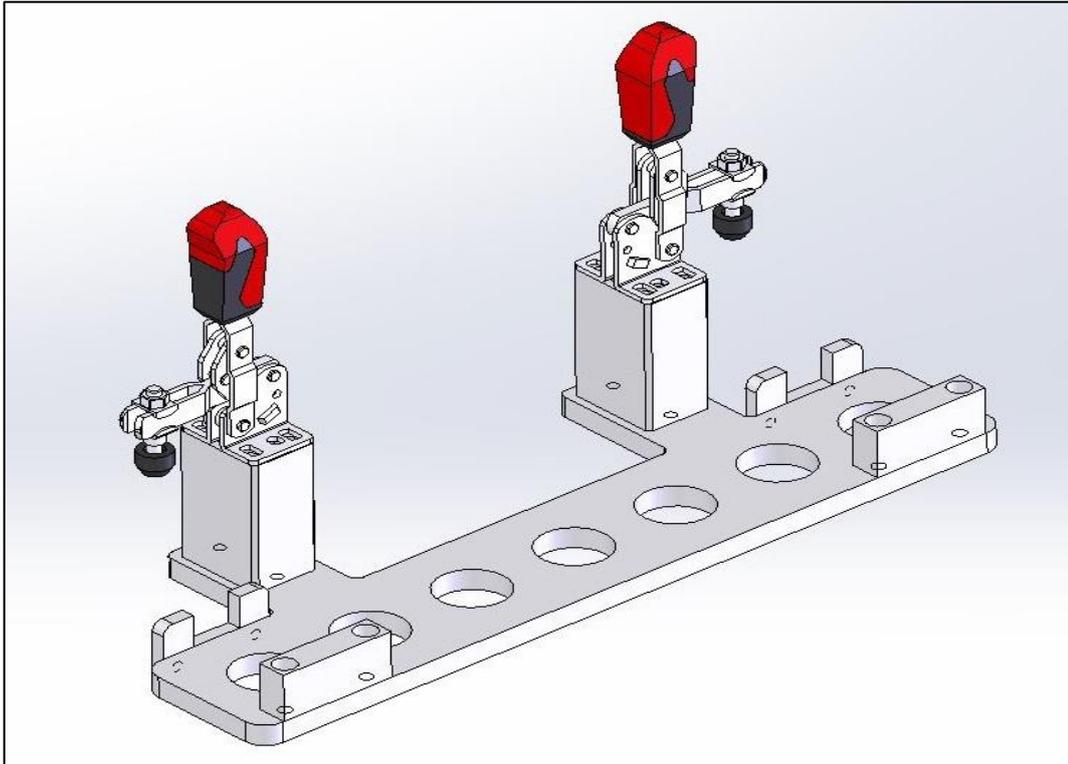
Figura 49 - Representação de Sistema de Auto Localização Desenvolvido



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

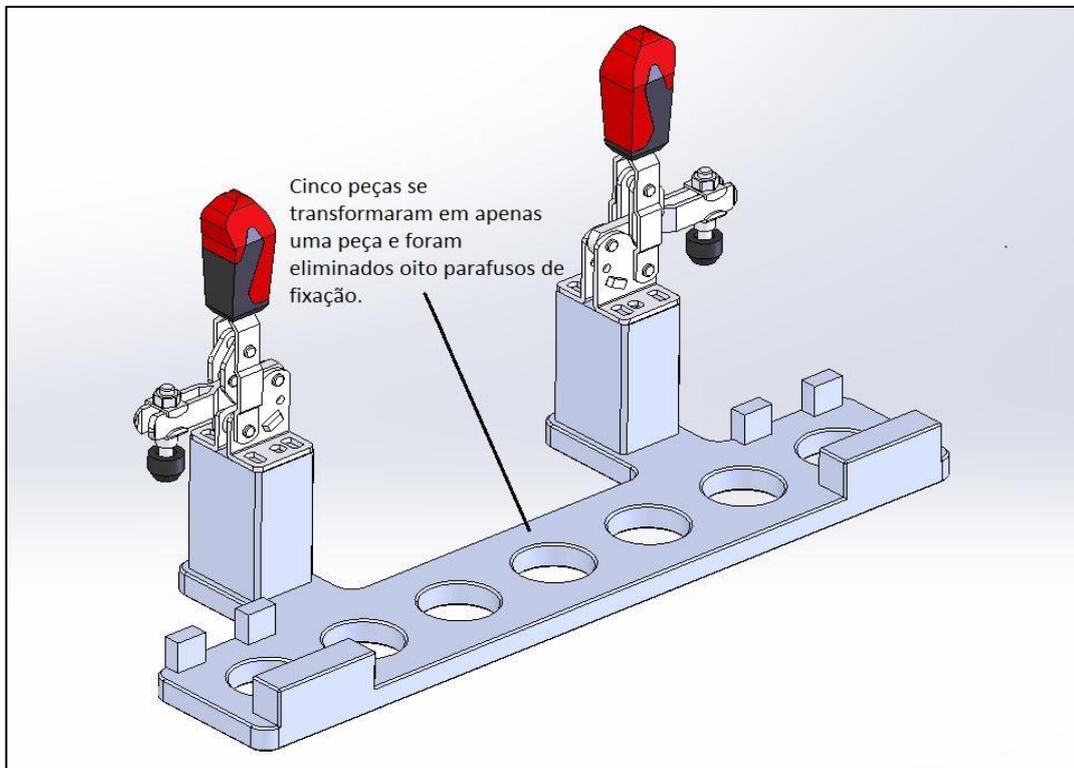
Com relação a diminuição de componentes, o *DFMAexpress* possibilitou pequenos ajustes, resultando, em alguns gabaritos, na transformação de um conjunto de pequenas peças em apenas uma peça única, conforme ilustrado no exemplo das figuras 50 e 51.

Figura 50 - Representação de Componentes Antes do *DFMAexpress*



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Figura 51 - Representação de Componentes após Aplicação *DFMAexpress*



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

4.1.4 Plano de Ação para escalar a Implementação para a empresa

O plano de ação, apresentado no decorrer desse item, visa entregar um planejamento simplificado para que a metodologia aqui estudada possa ser implementada, de fato, na empresa.

A implementação dessa metodologia por completo não depende apenas dos resultados desse trabalho. Para que ela seja implementada é necessário muito mais que isso. A intenção é implementar a metodologia de forma gradual e contínua, para que a mesma entre na cultura de projetos, envolvendo e atingindo todos os membros e níveis de processos presentes na construção de equipamentos, uma vez que também se trata de mudança de cultura de trabalho.

O plano de ação, que está apresentado no quadro 9, foi criado através da utilização da ferramenta 5W2H. Essa ferramenta é utilizada para tomar decisões simples e práticas nos ambientes empresariais e é uma espécie de *checklist*, onde ela deixa de forma explícita uma ou mais operações. As siglas 5W e 2H são siglas provenientes da língua inglesa, onde as 5 letras W representam: *What* (o que); *Who* (quem); *Where* (onde); *When* (quando); e *Why* (por que). Já as duas letras H significam: *How* (como) e *How Much* (quanto custa) (NAKAGAWA, 2014; POLACINSKI, VEIGA, et al., 2012).

Quadro 9 - Representação do Plano de Ação

Nome da ação: Implementar o DFMA para equipamentos					
Responsável: Rodrigo Bertin			Data de elaboração: 29/10/2018		
PLANO DE AÇÃO					
PORQUE FAZER: Para atingir maiores níveis de agilidade e diminuir custos na concepção de novos equipamentos.					
O QUE FAZER	COMO FAZER	QUEM FARÁ	ONDE	PRAZO	CUSTO
Treinamento Metodologia DFMA	Através de treinamentos presenciais, demonstrando os conceitos básicos da metodologia e apresentando como a metodologia foi ajustada e será utilizada na concepção de equipamentos.	Conceitos serão passados pelo autor do trabalho e um membro gestor da empresa. Vão receber treinamento todas as pessoas envolvidas na concepção de equipamentos.	No setor de engenharia da empresa com a presença do corpo técnico envolvido na construção de equipamentos.	1 dia útil	R\$ 1.056,00
Ajuste dos modelos	Ajustar os dois modelos através dos resultados obtidos pelo presente trabalho. Unindo	Autor do presente trabalho, corpo técnico da empresa e gestores.	No setor de engenharia da empresa com a	5 dias úteis	R\$ 5.280,00

<i>DFMAfull</i> e <i>DFMAexpress</i>	esses resultados a sugestões provenientes dos membros gestores e do corpo técnico que passará pelo treinamento do <i>DFMA</i> para concepção de equipamentos.		presença do corpo técnico envolvido na construção de equipamentos.		
Teste do método pelos projetistas da empresa	Utilizar a metodologia para projetar um novo equipamento, seguindo as orientações do <i>DFMAfull</i> ou <i>DFMAexpress</i> , fornecendo <i>feedback</i> e sugestões ao final do projeto.	Projetistas da empresa.	Setor de engenharia com possível orientação dos outros setores ligados a manufatura e montagem.	10 dias úteis	R\$ 10.560,00
Criação da Biblioteca de Objetos e Subconjuntos	Criar uma biblioteca de projetos que possa auxiliar a padronização e modularização de projetos, que são critérios utilizados pelo <i>DFMA</i> .	Autor, projetistas e corpo técnico envolvido na concepção de equipamentos.	Setor de engenharia com possível orientação dos outros setores ligados a manufatura e montagem.	5 dias úteis	RS 5.280,00
Acompanhamento da metodologia	Acompanhar a metodologia sugerindo e fazendo ajustes necessários conforme a evolução da concepção de projetos e as necessidades da empresa	Todos os envolvidos com a concepção de equipamentos.	Setores envolvidos com a construção de equipamentos.	Tempo indeterminado, metodologia será ajustada durante os projetos.	Valor indefinido e não mensurado.

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

A primeira etapa, apresentada pelo quadro 9, busca iniciar o processo de implementação do *DFMA*, após a realização do presente estudo. Nesse momento, a ideia é nivelar todos os envolvidos com a construção de equipamentos, levando a esse público o que é a metodologia, para que ela serve e como utilizá-la. O material básico para esse treinamento serão as referências bibliográficas clássicas da metodologia, o experimento realizado durante o presente trabalho, a experiência obtida através desse estudo e a experiência de todos envolvidos no processo de construção de equipamentos.

Após a realização do treinamento, a ideia é buscar o ajuste da metodologia, melhorando e adequando os critérios dos guias *DFMAfull* e *DFMAexpress*, utilizando os resultados e dificuldades encontradas no presente trabalho, juntamente com sugestões do corpo técnico da empresa que passará pelo treinamento, incluindo ainda orientações propostas pelos gestores.

Como terceiro passo, a ideia é orientar para que cada projetista inicie a utilização da metodologia em novos projetos, baseando-se nos *checklists* criados durante o estudo, para que

possam ter um melhor entendimento do *DFMA* através da prática. Posteriormente, a utilização da metodologia no ambiente real, pretende-se ajustar novamente aos *checklists*, através das sugestões trazidas pelos próprios projetistas, baseados nos resultados que eles obtiveram utilizando o *DFMA* na prática.

Como quarta etapa, a sugestão é a criação de uma biblioteca de projetos ajustada ao método, que terá as funções de guardar, orientar e reutilizar componentes já estudados em novos projetos, visando atingir uma maior velocidade na entrega de cada equipamento. Pretende-se, com essa biblioteca criar *kits* de peças e subconjuntos que poderão ser utilizados em outros momentos, evitando assim, o trabalho repetitivo que atualmente faz parte da criação dos equipamentos.

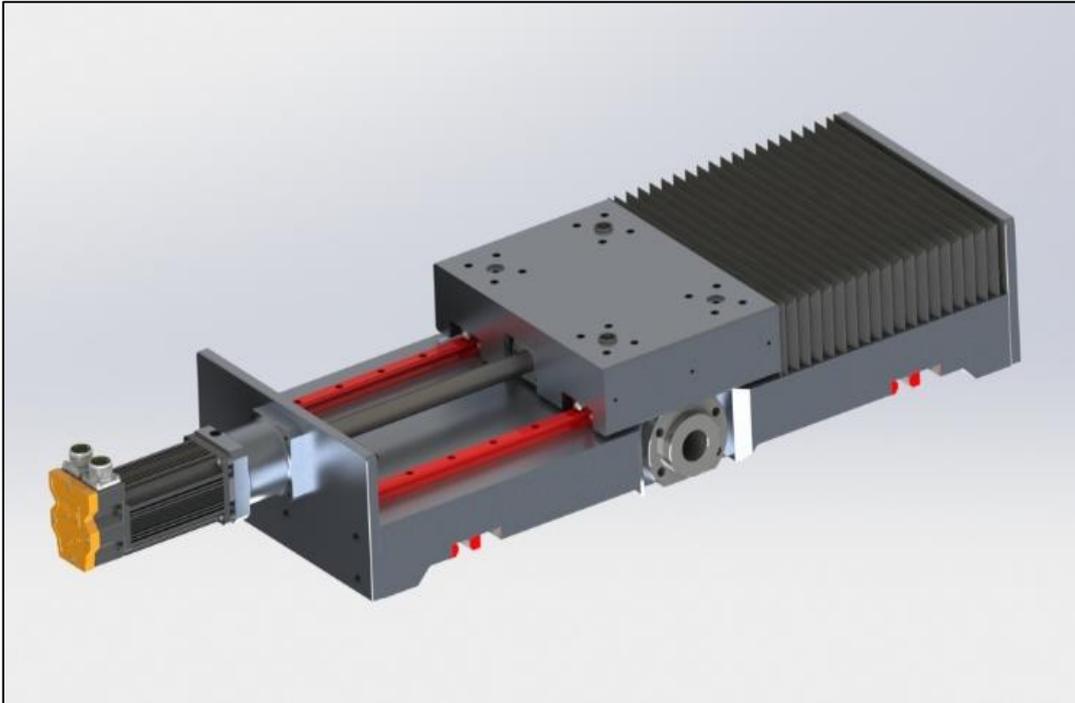
Nas figuras 52 e 53, está apresentado um conjunto criado durante esse experimento que é um exemplo ideal para demonstrar como serão os *kits* de subconjuntos que poderão ser salvos na biblioteca de projetos. Esse *kit*, que está representado pela figura 52, é definido como um carro linear padrão, que poderá ser utilizado em diversos outros momentos.

Esse carro de movimentação linear foi criado na forma modularizada e padronizada, isto é, se houver a necessidade de movimentar objetos com cargas ou velocidades distintas do projeto inicial, seus componentes terão as dimensões alteradas, porém não será adicionada e nem removida nenhuma peça. A quantidade de itens e a quantidade de peças sempre será a mesma, proporcionando benefícios, como maior familiaridade com os componentes, diminuição de retrabalhos, diminuição de tempo de projeto, etc.

Além disso, a figura 53 ilustra o bloco principal do carro de transmissão linear, onde é possível observar algumas características de uma peça que foi criada baseada nas três principais regras do *DFMA*, presentes nos Apêndices B e C.

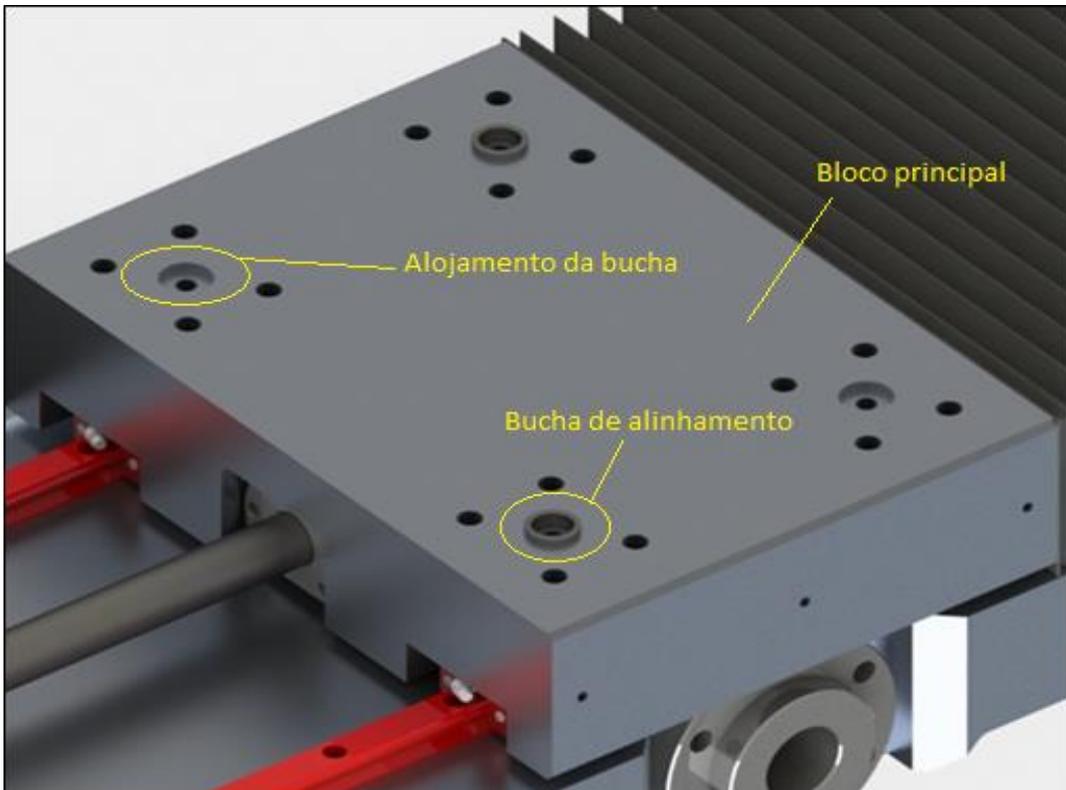
Nesse bloco, é possível perceber que a peça foi pensada para uma função principal, que é movimentar algum elemento que estará preso na sua parte superior, porém foram adicionadas várias funções tornando-o um componente multifuncional. Outra característica marcante, que também faz parte dos critérios do *DFMA*, é a bucha de alinhamento, que faz com que qualquer subconjunto que venha a ser acoplado nesse bloco tenha uma característica de auto localização.

Figura 52 - Representação do Carro Linear Padronizado e Modularizado



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Figura 53 - Representação de Conjunto com Características de *DFMA*



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Para a criação da biblioteca de projetos, a ideia foi dividi-la em duas estruturas: uma parte que contempla componentes mecânicos e outra que contempla componentes elétricos. Dentro dessas duas estruturas, elas foram divididas em três principais partes, conforme está ilustrado nos Apêndices D e E. A divisão das duas estruturas em mais três partes internas foi feita entre itens comprados, itens desenvolvidos dentro da empresa e conjuntos padronizados e modularizados, seguindo as orientações do *DFMA*. Dentro dessa terceira classificação, estarão conjuntos que podem ser formados por componentes comprados e componentes fabricados na empresa simultaneamente.

A intenção é que subconjuntos padronizados e modularizados sejam criados para serem utilizados diversas vezes, diminuindo a incidência de trabalhos repetitivos, aumentando a familiaridade de todos os envolvidos com os componentes criados e, principalmente, buscar a concepção de um novo equipamento com o maior número de componentes e subconjuntos já prontos e pertencentes a biblioteca.

Ainda sobre a biblioteca, é importante salientar que, nessa estrutura, só poderão ser salvos componentes, peças ou subconjuntos que atendem os seguintes pré-requisitos:

- a) Ser uma peça, componente comprado ou conjunto que poderá ser utilizado diversas vezes e em diversos projetos;
- b) No caso de peças fabricadas dentro da empresa apresentar as informações necessárias (material, dureza, tipo de tratamento térmico, tipo de tratamento superficial, peso e custo estimado);
- c) No caso de componentes comprados ter todas as informações necessárias para compra (referência fornecedor, código de compras interno e custo estimado);
- d) No caso de conjuntos, ser um conjunto padronizado e se possível modularizado e que possa ter serventia em diversos projetos. Nas questões de montagem e manufatura ter um consenso entre todos os envolvidos (projetistas, eletricitas e mecânicos).

Como quinta e última etapa da implementação, será a fase de acompanhamento, onde os membros envolvidos farão com que a metodologia seja mantida e aprimorada ao longo do tempo. Essa etapa irá sugerir, prever e ajustar o *DFMA* constantemente, conforme as necessidades da empresa. Possivelmente esta seja a etapa mais importante da metodologia, pois sem sua manutenção será muito difícil manter e evoluir com a metodologia.

O custo estimado total para a realização de todo o plano de ação será de aproximadamente R\$ 22.176,00. Nesse custo foi considerado apenas o valor das horas gastas

para a implementação, visto que não será necessário aquisição de *softwares* ou equipamentos em um primeiro momento. Além disso, o acompanhamento da metodologia não foi considerado, pois a ideia é promover a evolução dos critérios e da metodologia com passar do tempo.

Além do plano de ação 5W2H apresentado, para que a metodologia possa ser implementada de forma gradual o presente estudo, buscou entregar um guia para projetos de desenvolvimento de equipamentos com o uso do *DFMA*, ilustrado através do Apêndice H. Esse guia foi elaborado e adaptado tomando como base os modelos de PDP de Rozenfeld (2006) e Cooper (2008), juntamente com as necessidades da empresa na construção de equipamentos, já apresentadas durante esse estudo.

4.2 AVALIAÇÃO: SÍNTESE DOS RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO DFMA

Como síntese de resultados é de suma importância ressaltar os resultados positivos que vão ao encontro ao que sugere a metodologia *DFMA* em si, e ainda ressaltar os resultados positivos que evidenciam as necessidades da empresa.

Para os resultados ligados ao *DFMA* é importante olhar separadamente os dados proporcionados pelo *DFMAfull* e o *DFMAexpress*.

No *DFMAfull* as principais entregas foram a as reduções de 24,5% na quantidade de componentes totais e de 30,4% na quantidade de parafusos, porcas e elementos de fixação. Além disso, no que diz respeito a componentes obteve-se aumentos de 31,1% na quantidade de itens padronizados e 24,8% na quantidade de itens comprados.

Com relação a mensuração de tempos a aplicação do método no equipamento de alta complexidade resultou em reduções de 39,5% no tempo de projeto e de 29,4% no tempo de manufatura e principalmente uma redução de 88,8% no tempo de montagem.

No quesito custos os resultados puderam entregar redução de 19,9% no custo total o que representa em valores R\$ 74.307,00. Além disso, um dos pontos, mas importantes foi a melhora de 6,1% no índice *DFA* ou *DFAindex*, chegando ao número de 7,14%, o que representa uma boa evolução nesse índice, porém ainda com grandes oportunidades de melhoria.

O *DFMAexpress*, como já mencionado trouxe entregas menos expressivas, no entanto ainda foi possível reduzir em 4,8% a quantidade de componentes totais. Na questão utilização dos tempos obteve-se redução de 16,8% no tempo de projeto, 9,1% no tempo de manufatura e 7,5% no tempo total de montagem.

A redução total no custo desse equipamento de baixa complexidade foi de 11,3%, o que representa R\$ 1.448,51. Por fim, o *DFMAexpress* não conseguiu aumentar significativamente o *DFAindex*, apresentando uma melhoria de apenas 0,06% chegando ao nível máximo de 2,08%, demonstrando uma alta necessidade de aprimorar e facilitar a montagem dos componentes.

Como resultados positivos mais ligados as implicações do *DFMA* para os resultados financeiros da empresa, foi possível estimar os ganhos financeiros anuais considerando que no ano de 2017 foram elaborados e criados em torno de 90 equipamentos baixa complexidade e 20 equipamentos de alta complexidade, pode-se imaginar reduções totais anuais de aproximadamente R\$ 1,5 milhões de reais ao ano, caso a demanda de equipamentos seja mantida para os próximos anos.

5 CONCLUSÃO

5.1 IMPLICAÇÕES TEÓRICAS

Tendo em vista a aplicação específica presente na empresa, esse trabalho buscou entregar uma ferramenta testada em situações reais, para auxílio a implementação do *DFMA* em projetos de equipamentos diversos. Essa ferramenta caracteriza-se pela simplicidade e facilidade na intervenção de projetos, sem gerar muita burocracia e de forma mais superficial do que a aplicação da metodologia através de *softwares* encontrados no mercado.

Como o objetivo geral visava desenvolver um método que auxiliasse na implementação do *DFMA* na concepção de equipamentos variados, otimizando o processo de construção na empresa, conseguiu-se atingir o objetivo. Entregando ainda valores que puderam avaliar o processo de construção como um todo, estudar e organizar as famílias de equipamentos existentes, impor e criar pré-requisitos e critérios que possibilitaram projetos de fácil manufatura e montagem, auxiliando ainda, na obtenção de equipamentos com menos componentes, menor tempo de manufatura e ainda iniciando o processo de modularização e padronização desses equipamentos.

Além disso, o presente estudo entregou uma nova estrutura para uma biblioteca de objetos, que dever ser preenchida e elaborada ao longo do tempo, bem como a entrega de indicadores mais assertivos para que a empresa possa avaliar de maneira mais coerente os equipamentos construídos internamente.

Quanto as metodologias complementares, a Matriz Morfológica e a Engenharia Dimensional, pode se dizer que na primeira delas foram elaboradas as matrizes que auxiliaram na concepção de novos projetos, porém não foi possível testá-la na sua integralidade, pois os equipamentos aqui estudados já tinham seus conceitos desenvolvidos. Já no caso da Engenharia Dimensional, entendeu-se que ela, pode sim trazer benefícios para a construção de equipamentos, principalmente na fase de projeto, pois irá simplificar essa fase como ilustra os exemplos presentes nos Apêndices G e F. Porém não foi possível testá-la e implementá-la ficando então, como uma possibilidade para trabalhos futuros.

Sobre os testes de implementação então, todos os princípios utilizados durante o teste da metodologia foram de perfil básico, ou seja, princípios que podem ser facilmente implementados e que com o passar do tempo podem levar a mudança de cultura dos projetos, proporcionando maiores ganhos ao longo da utilização da metodologia.

Ainda sobre a cultura do *DFMA* é importante salientar, que esse método gera uma mudança muito grande nos costumes de toda a cadeia envolvida na construção de equipamentos, fato que fica ainda mais evidente no dia a dia dos projetistas e engenheiros. Desta forma, o modelo de implantação do *DFMA*, a partir de um componente interno da equipe, foi importante para desencadear mudança da cultura de trabalho, com maior nível de aceitação.

No que diz respeito ao setor de construção de equipamentos, ficou evidente que esse setor é estratégico para empresa e que sua evolução poderá impactar significativamente no desempenho futuro da empresa. Entende-se que esse setor deve receber ajustes pontuais, para que ele tenha comportamento semelhante ao de uma empresa fabricante de máquinas e equipamentos, preocupando-se principalmente com qualidade, organização e redução de custos. Esse pensamento pode ser o ponto crucial para a continuidade da construção de equipamentos dentro da empresa, pois os altos desperdícios e altos custos podem fazer com que esse setor deixe de ser viável na organização.

Apesar do *DFMA* ser implementado num ambiente de extrema diversidade e de difícil direcionamento de critérios e princípios, a metodologia conseguiu obter alguns ganhos, que podem vir a serem potencializados, caso os princípios e a cultura *DFMA*, sejam implementados de maneira mais consistente na empresa.

Através da realização desse estudo percebeu-se que na criação e construção de equipamentos a eficiência, minimização dos erros e o baixo custo dos equipamentos geralmente surge com a experiência e a criação novas versões. Todavia, através da utilização da metodologia *DFMA* é possível melhorar a eficiência e chegar mais próximo da excelência já nas primeiras versões de cada equipamento.

Dentro da organização onde foi realizado o teste de implementação do *DFMA*, foi possível perceber que o maior ganho foi o de iniciar preparação dos membros envolvidos na construção de equipamentos para desafios futuros, onde a empresa vai poder entregar mais equipamentos em menores tempos e com uma maior assertividade.

O desenvolvimento da metodologia *DFMA* pode ser crucial para aumentar a assertividade, no entanto alguns pontos devem ser cuidadosamente estudados para que a metodologia se torne uma ferramenta e não apenas uma burocracia a mais no desenvolvimento de novos projetos.

Outro ponto importante que foi possível entregar na realização desse trabalho, foi o fato de conseguir-se oferecer para a empresa alguns indicadores, que possam vir a serem utilizados como forma de avaliação de projetos e poderão auxiliar na análise crítica de cada equipamento.

Dentre esses indicadores, pode-se medir com maior acurácia através da metodologia os tempos de projeto, manufatura e montagem, e ainda atingir uma melhor assertividade nas análises dos custos de projeto, manufatura e montagem. Além de entregar um indicador mais específico da metodologia que é a utilização do *DFAindex*.

Ainda sobre os critérios utilizados para a simplificação através do *DFMAfull* e *DFMAexpress* é importantíssimo mencionar que todos os critérios tiveram algum tipo de contribuição, entretanto o que realmente fez a diferença nos resultados foram as três principais regras do *DFMA*, que estão descritas em amarelo no início dos Apêndices B e C.

Com relação aos dois guias de *DFMA* testados, o *DFMAfull* e o *DFMAexpress*, entendeu-se, que o procedimento foi adequado, pois sem essa divisão haveria muita dificuldade para implementar o *DFMA*, principalmente em projetos pequenos, pois o tempo gasto para verificação da metodologia seria, muito grande. Com isso, entende-se que futuramente, essa divisão possa ser aumentada, para que os guias sejam mais específicos e auxiliem de melhor maneira para projetos mais específicos.

Para finalizar as conclusões, dois pontos importantíssimos promovidos pelo presente estudo foram a aproximação da empresa com o campo acadêmico e vice-versa, e o conhecimento para uma possível uma estruturação do *DFMA* em qualquer nível de complexidade, podendo até ser implementado futuramente nos processos de desenvolvimento de produtos da empresa.

Para a academia então, gerou-se a aproximação dela com a prática e a entrega de um trabalho acadêmico testado em um ambiente real e com poucas publicações existentes.

5.2 IMPLICAÇÕES GERENCIAIS

Embasado pelas referências bibliográficas, o presente estudo e os testes apresentados durante o desenvolvimento do trabalho, foi apurado que a metodologia *DFMA*, pode sim ser um instrumento estratégico para as empresas que queiram simplificar a estrutura de seus produtos, melhorar a assertividade, controlar melhor os custos de manufatura e ainda possibilitar a padronização e modularização, que são ferramentas que auxiliam num melhor desenvolvimento de projetos e produtos.

A metodologia aqui testada, mostrou-se eficaz na concepção de equipamentos diversos, no entanto, para que ela tenha sucesso é fundamental que seja ajustada a cada caso e considerando as tecnologias de manufatura disponíveis em cada organização.

Além disso, foi observado ao longo do processo que o essencial para que o sucesso da metodologia ocorra é aplicar a metodologia apenas na profundidade ou intensidade necessária, por se tratar de mudança de forma de trabalho e percepção no desenvolvimento de projetos. Em casos como o presente estudo, pelo fato de se tratar de equipamentos, não é necessário chegar a um nível de detalhe muito elevado em termos de princípios *DFMA*, mas sim, fomentar a cultura do *DFMA* superficialmente minimizando desperdícios, sem desprender muito tempo do projeto, já que a ideia é acelerar o processo e nesse tipo de desenvolvimento o tempo de projeto representa uma boa parcela do tempo total e dos custos.

No que diz respeito a aplicação da metodologia no projeto de equipamentos, isto é, num ambiente de extrema diversidade como foi o caso do presente estudo, deve-se ter cuidado principalmente com a forma que será aplicada a metodologia, visto que ela pode se tornar extremamente burocrática, se não houver o pleno entendimento de sua aplicação e do ambiente que ela será submetida.

Com relação ao aprendizado adquirido pela empresa pode-se dizer que o mesmo ainda não é mensurável, pois ainda há muito o que evoluir. No entanto baseado nos resultados e melhorias adquiridas ao longo do estudo é possível perceber que o conhecimento alcançado foi enorme e pode se tornar muito maior com a utilização e evolução do método.

A questão da ociosidade existente no processo de construção de equipamentos também foi um ponto observado. Nesse quesito, é importante ressaltar que é preciso evoluir muito dentro da empresa e o *DFMA* pode ser uma ferramenta interessante para apoiar no combate da ociosidade.

Quanto aos riscos, pode-se afirmar que, a implementação da metodologia passa muito pelo bom entendimento da gerência da empresa, e ainda pela aceitação e compreensão de todos os membros da engenharia e dos outros setores envolvidos com a construção de equipamentos. Os fatores de risco de preferência por outra metodologia e falta tempo, entende-se que se tornaram pouco prováveis, pois o *DFMA* pode trabalhar em conjunto com outras metodologias, inclusive, sendo sugestão do presente trabalho. Já para a falta de tempo por parte de engenheiros e projetistas, entende-se que com um bom treinamento essa falta de tempo possa ser minimizada. Com relação aos maus resultados, eles foram descartados através dos bons resultados apresentados durante esse estudo.

Por fim, é interessante expressar que o *DFMA* aplicado de forma desconexa, pode sim se tornar um complicador ao invés de um facilitador, sua má implementação pode trazer uma grande perda de tempo na concepção de equipamentos, principalmente nas fases de projeto.

5.3 TRABALHOS FUTUROS

Como sugestão para trabalhos futuros indica-se a utilização de *softwares* específicos que orientam na implementação do *DFMA*, ou até mesmo a informatização do presente trabalho para ter maior acurácia e precisão nos ganhos e dados obtidos através da utilização do *DFMA*.

Além disso, sugere-se em trabalhos futuros a evolução e criação de novos componentes e conjuntos padronizados e modularizados para compor a biblioteca de objetos, isto é, uma biblioteca com peças padronizadas, itens comprados e kits ou subconjuntos de componentes já ajustados a metodologia, fazendo com que o trabalho dos projetistas possa ser simplificado e acelerado. Criando uma estrutura que auxilie na montagem de diversos equipamentos com a utilização de componentes já utilizados anteriormente.

Para melhorar e transformar o ambiente interno da empresa sugere-se ainda criar outros modelos de *DFX*, como por exemplo o *DFMAI* (*Design for Maintenance*) ou *DFER* (*Design for Ergonomics*), assim como tantos outros que de alguma maneira podem contribuir para a melhoria de equipamentos e processos.

Por fim, para auxiliar no desenvolvimento da metodologia *DFMA*, sugere-se um possível trabalho unindo-se o *DFMA* com metodologias como a customização em massa e o método *GD&T* método que poderá diminuir a quantidade de documentos e possibilitará um melhor entendimento dos componentes nos setores da empresa onde serão fabricados os componentes. Nos Apêndices F e G, estão apresentados dois modelos de detalhamento de componentes, no Apêndice F o método de detalhamento atual utilizado pela empresa através do sistema cartesiano e com desenhos em 2D, e no Apêndice G o modelo de detalhamento em 3D sugerido com a inclusão do método *GD&T*.

REFERÊNCIAS

ARNETTE, A. N.; BREWER, B. L.; CHOAL, T. Design for sustainability (DFS): the intersection of supply chain and environment. **Journal of Cleaner Production**, v. 83, p. 374–390, 2014.

BARBOSA, G. F. **Aplicação da metodologia DFMA - Design for Manufacturing and Assembly no projeto e fabricação de aeronaves**. Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo. São Carlos, p. 163. 2007.

BARBOSA, G. F. **Desenvolvimento de um modelo de análise para implantação de automação na manufatura aeronáutica, orientado pelos requisitos das metodologias de Projeto para Excelência (DFX Design for Excellence) e Produção Enxuta (Lean Manufacturing)**. Universidade de São Paulo - USP, Escola de Engenharia de São Carlos - EESC - Departamento de Engenharia Mecânica. São Carlos. 2012.

BAXTER, M. **Projeto de Produto - Guia prático para o design de novos produtos**. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda., 1998.

BAYOUMI, A. M. E. **Design for manufacture and assembly (DFMA): concepts, benefits and application**. Current Advances in Mechanical Design and Production. Cairo: Seventh Cairo University International MDP Conference, 2000.

BESSANT, J.; TIDD, J. **Inovação e Empreendedorismo**. Porto Alegre: Bookman, 2009.

BOOTHROYD, G.; DEWHURST, P.; KNIGHT, W. A. **Product Design for Manufacture and Assembly**. 3^a. ed. New York: Taylor & Francis Group, 2011.

BRALLA, J. G. **Design for Excellence**. 2^a. ed. New York: McGraw-Hill, 1996.

BRYMAN, A. **Research Methods and Organization Studies (contemporary social research)**. London: Routledge, 1989.

BURGELMAN, R.; CHRISTENSEN, C.; WHEELWRIGHT, S. **Gestão Estratégica da Tecnologia e da Inovação**. 5ª. ed. Porto Alegre: Bookman, 2012.

CHRISTOVAM, L. C. **Desenvolvimento de produto com aplicação da gestão do conhecimento em uma empresa de médio porte fabricante de implementos agrícolas**. Universidade de Araraquara - UNIARA. Araraquara. 2017.

COGORNO, G. R. **Geometric Dimensioning and Tolerancing for Mechanical Design**. New York: McGraw-Hill, 2006.

COOPER, R. G. **Winning at new products: accelerating the process from idea to launch**. 2ª. ed. 1993.

COOPER, R. G. Perspective: The Stage-Gate Idea-to-Launch Process - Update, What's New and NexGen Systems. **Journal of Product Innovation Management**, Maio 2008.

COUGHLAN, P.; COGLAN, D. **Action Research for Operations Management**. International Journal of Operations & Production Management, 2002.

ERIXON, G. **Modular Function Deployment: A Method for Product Modularisation**. Royal Inst. of Technology, Department of Manufacturing Systems, Assembly Systems Division, 1998. 178 p.

FANHA, M. C. A. **Estudo de Estratégias de Medição para Controle e Dimensionamento Geométrico e Toleranciamento (GD&T) em Peças Estampadas**. Universidade Tecnológica do Paraná. Curitiba. 2011.

FAVI, C.; GERMANI, M.; MANDOLINI, M. Design for Manufacturing and Assembly vs, Designe to Cost: toward a multi-objective approach for decision-making strategies during conceptual design for complex products. **ELSEVIER**, Ancona, 12 Abril 2016. 275-280.

FINOTTI, M. B. et al. DFMA em Ação: A Metodologia Aplicada no Desenvolvimento de Uma Secadora Centrífuga. **IV Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica**, Águas de Lindóia, Novembro 1999.

FIORAVANTI, A. **Aplicação da Metodologia "Design For Six Sigma" (DFSS) em Projetos Automotivos**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 118. 2005.

GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 6ª. ed. São Paulo: Editora Atlas S.A., 2017.

HUANG, G. Q. **Design for X: Concurrent Engineering Imperatives**. Abertay Dundee: Springer Verlag, 2012.

KAMINSKI, P. C. **Desenvolvendo Produtos Planejamento, Criatividade e Qualidade**. LTC Editora, 2000.

KASCZUK, N. O. **Operacionalização do Tecnicentro: Um Estudo Comparativo com Outros Parques Nacionais**. Universidade Estadual do Centro-Oeste UNICENTRO. Guarapuava. 2017.

MALEWSCHIK, F. H. **BIM e DFMA Visando a Redução da Quantidade de Partes da Construção**. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, p. 110. 2016.

MANO, A. P.; TOLEDO, J. C. D. Gestão do processo de desenvolvimento de produto: Estudo de caso em empresas nacionais fabricantes de máquinas agrícolas. **ENGEVISTA**, Ilheus, 2011.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de Metodologia Científica**. 8ª. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

MASCARENHAS BISNETO, J. P.; LINS, O. B. D. S. M. Gestão da inovação: uma aproximação conceitual. **Revista Brasileira de Gestão e Inovação**, Janeiro/Abril 2016.

MEDEIROS, F. D. A. D. S. **Uma Análise da Competitividade Empresarial e Territorial do Pólo Industrial de Manaus, Sob a Óptica do Modelo da Tripla Hélice**. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. Vila Real, 2016.

MEGLIORINI, E. **Custos - Análise e Gestão**. 3^a. ed. São Paulo: Pearson, 2012.

MELLO, C. H. P. et al. Projeto conceitual de componentes de um forno industrial por meio da integração entre a engenharia reversa e o DFMA. **Gestão e Produção**, São Carlos, p. 497-511, Junho 2010.

MELLO, E. B. D. **Processo de Desenvolvimento do Produto em Empresas de Uma Cadeia Automotiva: Um Estudo Comparativo**. UCS - Universidade de Caxias do Sul. Caxias do Sul. 2008.

MINTZBERG, H.; AHLSTRAND, B.; LAMPEL, J. **Safári de Estratégia: um roteiro pela selva do planejamento estratégico**. Porto Alegre: Bookman, 2000.

MORE, N. K. et al. Design for Manufacture and Assembly (DFMA) Analysis of Burring Tool Assembly. **International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)**, Maharashtra, Setembro 2015.

NAKAGAWA, M. **Ferramenta 5W2H - Plano de Ação para Empreendedores**. Globo, 2014.

NAIJU, C. D.; WARRIER, P. V.; JAYAKRISHNAN, V. Redesigning of Shopping Cart for Cost Reduction Using DFMA. **MATEC Web of Conferences**, 2017.

OSTERTAG, O.; OSTERTAGOVA, E.; HUÑADY, R. Morphological matrix applied within the design project of the manipulator frame. **Procedia Engineering**, 2012.

PAHL, G. et al. **Projeto na Engenharia: fundamentos do desenvolvimento eficaz de produtos, métodos e aplicações**. 6 Ed. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2005. 432 p.

PAROLIN, S. R. H. Estudo Multicaso Sobre Atividades Inovativas. **Revista de Administração**, São Paulo, 2013.

PINHEIRO, M. C. et al. Acumulação de Capacidades Tecnológicas, Inovação e Competitividade Industrial: Alguns Resultados para Indústrias Selecionadas Relacionadas a Recursos Naturais no Brasil1. **Technological Learning and Industrial Innovation**, Rio de Janeiro, Fevereiro 2017.

PIOMBINO, R. A. **Integrated Product Development and DFM Implementation at Pratt & Whitney**. The International Forum of Design for Manufacturing and Assembly. Warwick, 2010.

PRICKEN, M. **Publicidad Creativa: Ideas y Tecnicas de Las Mejores Campañas Internacionales**. Barcelona: Gustavo Gili, 2009.

POLACINSKI, É. et al. Implantação dos 5Ss e proposição de um SGQ para uma indústria de erva-mate. **Gestão Estratégica: Empreendedorismo e Sustentabilidade - Congresso Internacional de Administração**, 2012.

PORÉM, M. E.; BELLUZZO, R. C. B.; SANTOS, V. C. B. D. Vantagem competitiva nas empresas contemporâneas: a informação e a inteligência competitiva na tomada de decisões estratégicas. **Intexto**, Porto Alegre, Dezembro 2012. 183-199.

ROVAI, R. L. **Modelo Estruturado para Gestão de Riscos em Projetos: Estudo de Múltiplos Casos**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2005

ROZENFELD, H. et al. **Gestão de Desenvolvimento de Produtos: Uma referência para a melhoria do processo**. [S.l.]: Saraiva, 2006.

SANTOS, J. G.; CÂNDIDO, G. A.; SILVA, M. É. D. Redes empresariais como estratégia para o aumento da competitividade em APLs. **REBRAE. Revista Brasileira de Estratégia**, Curitiba, Set/Dez 2011.

SANTOS, J. T. M. M. D. **Design for Manufacturing – Concept cost evaluation model for fabricated components at Volvo Aero**. Chalmers University of Technology. Göteborg. 2012.

SANTOS, P. A. D.; KIENEN, N.; CASTIÑEIRA, M. I. **Metodologia da Pesquisa Social - Da proposição de um problema à redação e apresentação do relatório**. São Paulo: Atlas, 2015.

SARQUIS, A. B. et al. Processo de Inovação, Fatores de Influência e Métricas de Desempenho: Proposta de Modelo Conceitual para Empresa de Base Tecnológica. **Anais do IV SINGEP**, São Paulo, 2015.

SASSANELLI, C. et al. Design for Product Service Supportability (DfPSS) approach: a state of the art to foster Product Service System (PSS) design. **Elsevier**, Milano, 2016.

SAVI, A. F.; GONÇALVES FILHO, E. V.; SAVI, E. M. D. S. Armazenamento de conhecimento explícito referente ao DFA (Design for Assembly) utilizando regras baseadas em casos. **Produção**, São Paulo, p. 66-76, 2010.

SILVA, M. M. D.; ALLIPRANDINI, D. H. **Relação entre o Processo de Stage-Gates e Aprendizagem Organizacional no PDP: Um Estudo de Caso**. Universidade Federal de São Carlos. São Carlos. 2001.

SOUSA, A. R. D.; WANDECK, M.; SILVA, D. C. D. O Uso do GD&T Aliado ao Cálculo Computacional de Tolerâncias Quantificando a Qualidade ainda na Fase de Projeto. **Congresso Brasileiro de Metrologia**, Recife, 2003.

SOUZA, J. F. **Aplicação de Projeto para Manufatura e Montagem em Uma Aborgagem de Engenharia Reversa: Estudo de Caso**. Universidade Federal de Itajubá. Itajubá. 2007.

STOCO, W. S. et al. Qualidade dimensional: Estudo e Aplicações do Sistema GD&T no Processo de Desenvolvimento de um Produto. **XXXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, João Pessoa, 03 Outubro 2016.

SUHARYANTI, Y. et al. The schene of product development process as a trigger to product sucess: A theoretical framework. **Elsevier**, Yogyakarta, 2015.

TEIXEIRA, J. D. A. **O Design Estratégico na Melhoria da Competividade das Empresas.** UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, p. 250. 2005.

THIOLLENT, M. **Metodologia da Pesquisa-ação.** São Paulo: Cortez, 1985.

TIGRE, P. B. **Gestão da inovação: a economia da tecnologia no Brasil.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2006.

TROTT, P. **Gestão da Inovação e Desenvolvimento de Novos Produtos.** 4ª. ed. Porto Alegre: Bookman, 2012. 648 p.

ULRICH, K. T.; EPPINGER, S. D. **Product Design and Development.** 6th. ed. New York: McGraw-Hill, 2015.

YUMUS, M. I. B. M. **Design and Development of Grass Cutting Machine using DFMA Methodology.** Universiti Teknikal Malaysia Melaka, 2008.

ZAVADIL, P. et al. Possibilidades de uso da matriz morfológica no processo de geração de alternativas em design. **Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design,** Gramado, 2014.

ZAVISTANOVICZ, L.; WALBER, M. Proposta de diretrizes para melhoria no processo de montagem de janela de ônibus urbano. **Revista Liberato,** Novo Hamburgo, 2014.

APÊNDICE A – ROTEIRO DA ENTREVISTA

Grupo 1

- a) Qual sua opinião sobre o processo de construção de equipamentos na empresa?
- b) Esse setor necessita atingir novos níveis de agilidade?
- c) Qual sua visão quanto ao nível que se encontra a manufatura, padronização, modularização e organização da área de construção de equipamentos?
- d) Você gostaria de ter algum tipo de indicador para realizar uma avaliação dos equipamentos construídos?

Grupo 2

- a) Você conhece ou já ouviu falar sobre o *Design for Manufacture and Assembly*?
- b) Na sua opinião, qual é o seu nível de conhecimento e experiência de 1 a 10 dessa metodologia?
- c) Qual sua opinião sobre o método?
- d) Quais benefícios você enxerga na aplicação do *DFMA* no setor de construção de equipamentos?
- e) Você considera que o *DFMA* traria algum tipo de melhoria significativa para a empresa?
- f) Na sua opinião a empresa apoiaria a implementação do método, caso o teste realizado por esse trabalho obtivesse um resultado positivo?
- g) Você acha que o método *DFMA* poderia ajudar na diminuição de custos, tempo de construção e organização da construção de equipamentos da empresa?
- h) Você acredita que a metodologia aqui apresentada, irá conseguir acelerar e organizar o processo de construção de equipamentos?
- i) A metodologia *DFMA* é a união do *DFM* com o *DFA*, na sua opinião qual das duas é a mais importante para a construção de equipamentos na empresa?

Grupo 3

- a) Enumere em ordem crescente de importância os princípios apresentados abaixo. Esses princípios são necessários nas análises de *DFA* de um projeto.
() Diminuição no número de componentes;

- Modularização;
- Padronização;
- Montagem empilhada;
- Facilitar alinhamentos;
- Diminuir elementos de fixação;
- Eliminar ajustes;
- Utilizar tolerâncias adequadas.

b) Quais dos elementos de fixação abaixo, você utilizaria com primeiras opções na construção de equipamentos?

- Solda;
- Parafusos;
- Porca-rebites;
- Rebites;
- Pré-encaixes.

c) Com relação a análise de *DFM* enumere dentre os processos de fabricação presentes na empresa qual o processo que apresente menor valor hora? Obs. Considerar custos de insumos.

- Corte a laser;
- Dobra ;
- Soldagem;
- Torneamento;
- Fresamento;
- Eletroerosão;
- Corte por eletro-fio.

d) Um equipamento produzido na empresa deve priorizar a construção dos seus componentes através de quais processos existentes na empresa?

APÊNDICE B – CHECK-LIST COM CRITÉRIOS DO *DFMA*full

Nº do equipamento:	
Data:	
As três regras fundamentais do <i>DFMA</i> para criação de um componente:	
1ª	A peça apresenta algum movimento em relação ao restante da montagem? Obs. Os movimentos pequenos não fazem parte desse procedimento.
2ª	É preciso determinar algum outro tipo de material para a peça, por motivos físicos?
3ª	A peça precisar ser removida por algum motivo de substituição, manutenção ou acesso a outros componentes?

SETOR RESPONSÁVEL: ENGENHARIA - <i>DFA</i>			
ITEM	VERIFICAÇÃO	SITUAÇÃO	OBSERVAÇÃO
1	Verificar a possibilidade de comprar o equipamento quando for possível.	Contempla	
2	Definir o conceito do projeto utilizando a matriz morfológica quando necessário.	Não contempla	
3	Diminuir o número de peças	Não aplicável	
4	Criar peças multifuncionais		
5	Modularizar componentes		
6	Cria uma nova peça somente se as 3 regras fundamentais do <i>DFMA</i> não forem atendidas		
7	Diminuir o número de componentes de fixação		
8	Buscar a simetria dos componentes		
9	Projetar componentes que não necessitem de força para montá-los		
10	Projetar componentes que não necessitem ferramentas para montá-los		

11	Projetar componentes com características de auto posicionamento		
12	Projetar componentes que necessitem apenas de um movimento linear para serem montados. Ex: Um pino é mais fácil de montar que um parafuso.		
13	Priorizar montagem empilhada		
14	Elaborar uma sequência de montagem dando acesso a todos os fixadores		
15	Aumentar a eficiência de montagem através do <i>DFA</i> index		
16	1ª opção de fixação Parafusos		
17	2ª opção de fixação Porca-rebites		
18	3ª opção de fixação Pré-Encaixes		
19	4ª opção de fixação Solda		
20	5ª opção de fixação rebites		

SETOR RESPONSÁVEL: ENGENHARIA - DFM			
ITEM	VERIFICAÇÃO	SITUAÇÃO	OBSERVAÇÃO
21	Verificar a possibilidade de comprar um componente		
22	Adequar as tolerâncias ao nível de processos disponível		
23	1ª opção de material AÇO SAE 1020		
24	2ª opção de material Alumínio 5032 - H34		
25	3ª opção de material AÇO SAE 1045		

26	4ª opção de material AÇO SAE 4140		
27	5ª opção de material AÇO H13		
28	6ª opção de material AÇO P20		
29	7ª opção de material (Nylon, Bronze, Latão, Madeira, Ferro Fundido, etc.)		

SETOR RESPONSÁVEL: ENGENHARIA - CRITÉRIOS <i>DFMA</i> TRAMONTINA MULTI S.A.			
ITEM	VERIFICAÇÃO	SITUAÇÃO	OBSERVAÇÃO
30	Priorizar a compra de máquinas de mercado		
31	Priorizar a utilização de componentes comprados		
32	1ª opção de processo Laser		
33	2ª opção de processo Torneamento		
34	3ª opção de processo Fresamento		
35	4ª opção de processo Dobra		
36	5ª opção de processo Soldagem		
37	6ª opção de processo Eletroerosão		
38	7ª opção de processo Eletro-fio		

APÊNDICE C – CHECK-LIST COM CRITÉRIOS DO *DFMAexpress*

Nº do equipamento:
Data:

As três regras fundamentais do *DFMA* para criação de um componente:

1ª	A peça apresenta algum movimento em relação ao restante da montagem? Obs. Os movimentos pequenos não fazem parte desse procedimento.
2ª	É preciso determinar algum outro tipo de material para a peça, por motivos físicos?
3ª	A peça precisar ser removida por algum motivo de substituição, manutenção ou acesso a outros componentes?

SETOR RESPONSÁVEL: ENGENHARIA - <i>DFMAexpress</i> - Gabaritos de Solda			
ITEM	VERIFICAÇÃO	SITUAÇÃO	OBSERVAÇÃO
1	Verificar a possibilidade de comprar o equipamento quando for possível.		
2	Diminuir o número de peças		
3	Criar peças multifuncionais		
4	Modularizar componentes		
5	Criar uma peça somente se as 3 regras fundamentais do <i>DFMA</i> não forem atendidas		
6	Prever tipo de fixação (manual, pneumática, hidráulica etc.)		
7	Prever materiais que não propiciem o acúmulo de respingos de solda		
8	Prever componentes substituíveis		
9	Prever materiais condutores de eletricidade		
10	Prever sistema de troca rápida		

APÊNDICE D – ESTRUTURA DA BIBLIOTECA DE PROJETOS MECÂNICOS

		Itens comprados																		
		Mecânicos																		
Biblioteca	Componentes	Tubulação				Estruturais		Elementos de Máquinas					Proteções		Lubrificação			Componentes para Matrizes		
		Pneumática	Hidráulica	Gás	Elétrica	Estruturas de aço	Perfil Alumínio	Acoplamento	Corrente	Mancais	Parafusos e afins	Rolamentos	Cercas	Fechamentos	Tubos de cobre	Bico graxeiro	Conexões	Injeção	Corte	Estampo
	Peças padronizadas Tramontina Multi S.A.																			
Biblioteca	Peças	Tubulação				Estruturais		Elementos de Máquinas					Proteções		Lubrificação			Componentes para Matrizes		
		Pneumática	Hidráulica	Gás	Elétrica	Estruturas de aço	Perfil Alumínio	Acoplamento	Correntes	Mancais	Parafusos e afins	Rolamentos	Cercas	Fechamentos	Tubos de cobre	Bico graxeiro	Conexões	Injeção	Corte	Estampo
	Conjuntos padronizados Tramontina Multi S.A.																			
Biblioteca	Conjuntos	Movimentação				Estruturais		Transmissão					Proteções		Lubrificação			Componentes para Matrizes		
		Transfer	Mesa Indexado	Tracionadores	Mesas Lineares	Estruturas de aço	Perfil Alumínio	Motor Spindle	Correntes	Mancais	Esticadores	Correias	Cercas	Fechamentos	Tubos de cobre	Bico graxeiro	Conexões	Injeção	Corte	Estampo

Ser um componente que poderá ser utilizado várias vezes.

No caso de peças fabricadas dentro da empresa apresentar (material, dureza, tratamento térmico, tratamento superficial, peso e custo estimado).

No caso de componentes comprados apresentar (referência, código de compras interno e custo estimado).

No caso de conjuntos, ter um consenso entre todos os projetistas e mecânicos.

APÊNDICE E – ESTRUTURA DA BIBLIOTECA DE PROJETOS ELÉTRICOS

Biblioteca	Componentes	Itens comprados															
		Elétricos															
		Quadro Derivação		Painel Elétrico		Botões	Tubos	Tomadas		Sensores			Servo Motores		Sinalização	IHM	
		Pentair	Rittal	Pentair	Rittal	Weg	Lapp	Weidmuller	Sick	Keyence	Balluf	Allen-Bradley	Siemens	Weg	Balluf	Siemens	Lsis
	Peças	Peças Padronizadas Tramontina Multi S.A.															
		Elétricos															
		Quadro Derivação		Painel Elétrico		Botões	Tubos	Tomadas		Sensores			Servo Motores		Sinalização	IHM	
		Pentair	Rittal	Pentair	Rittal	Weg	Lapp	Weidmuller	Sick	Keyence	Balluf	Allen-Bradley	Siemens	Weg	Balluf	Siemens	Lsis
	Conjuntos	Conjuntos Padronizados Tramontina Multi S.A.															
		Elétricos															
Quadro Derivação		Painel Elétrico		Botões	Tubos	Tomadas		Sensores			Servo Motores		Sinalização	IHM			
Pentair		Rittal	Pentair	Rittal	Weg	Lapp	Weidmuller	Sick	Keyence	Balluf	Allen-Bradley	Siemens	Weg	Balluf	Siemens	Lsis	

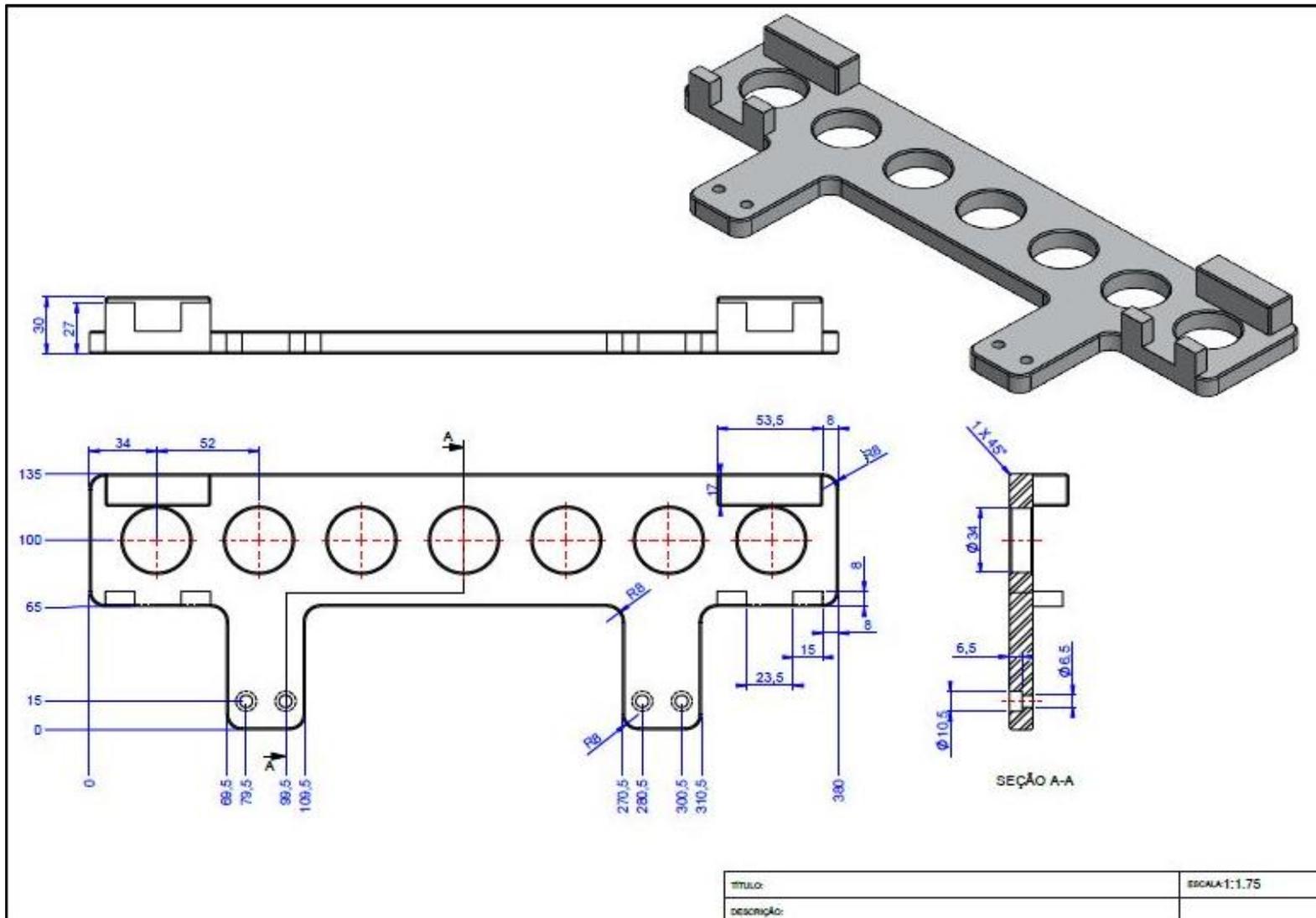
Ser um componente que poderá ser utilizado várias vezes.

No caso de peças fabricadas dentro da empresa apresentar (material, dureza, tratamento térmico, tratamento superficial, peso e custo estimado).

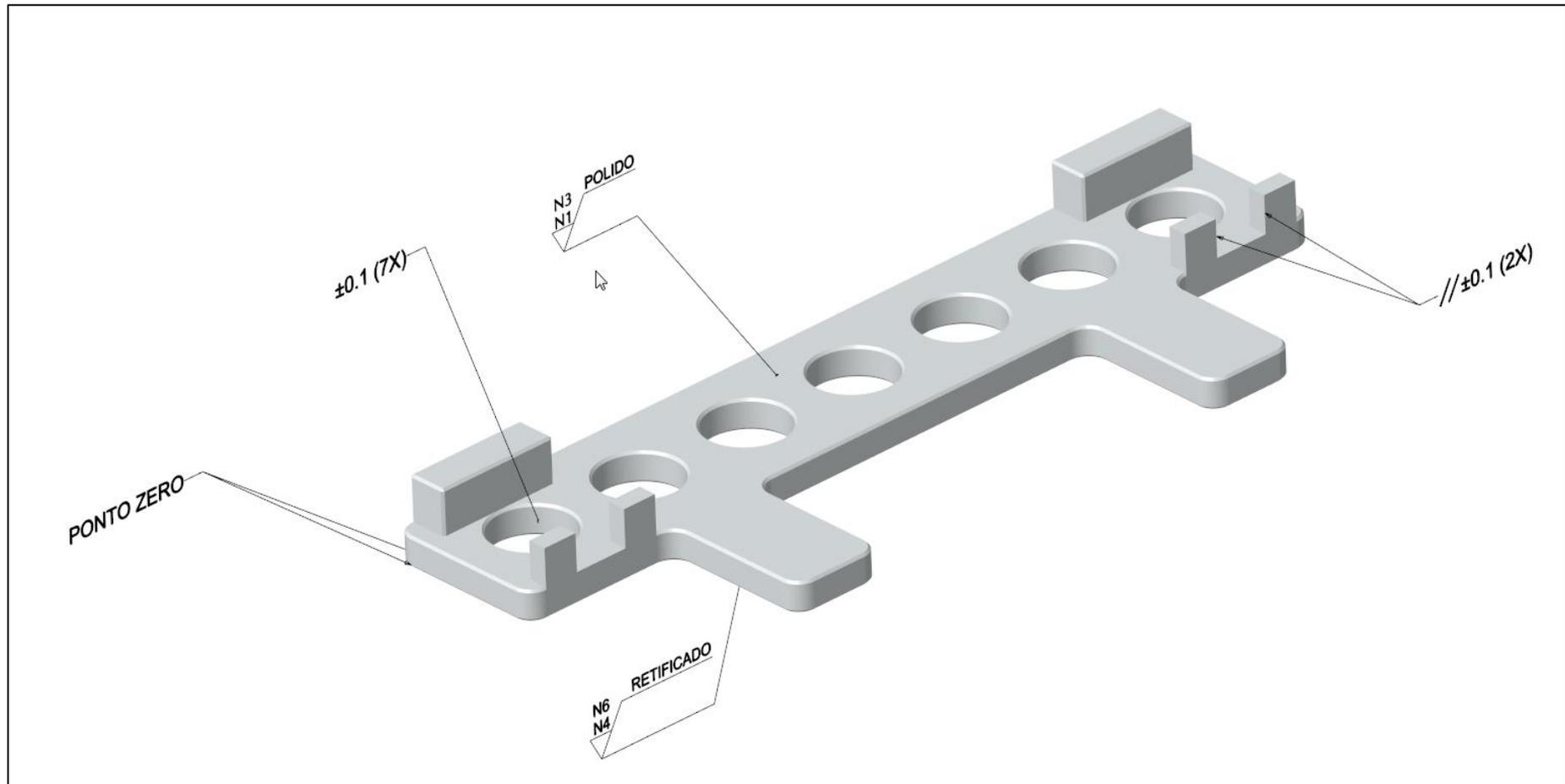
No caso de componentes comprados apresentar (referência, código de compras interno e custo estimado).

No caso de conjuntos, ter um consenso entre todos os projetistas e eletricitas.

APÊNDICE F – EXEMPLO DE DETALHAMENTO 2D



APÊNDICE G – EXEMPLO DE DETALHAMENTO 3D COM AUXÍLIO DA ENGENHARIA DIMENSIONAL



APÊNDICE H – GUIA DO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE EQUIPAMENTOS

