

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA - CAMPUS JARAGUÁ DO SUL - RAU
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM FABRICAÇÃO MECÂNICA

LUCAS DOS SANTOS

APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DFM/A NO REPROJETO DE UMA MÁQUINA
ENSACADEIRA:
Abordagem Voltada a Redução de Custos

JARAGUÁ DO SUL

Dezembro de 2022

LUCAS DOS SANTOS

APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DFM/A NO REPROJETO DE UMA MÁQUINA

ENSACADEIRA:

Abordagem Voltada a Redução de Custos

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Superior de Tecnologia em Fabricação Mecânica do Campus Jaraguá do Sul – Rau, do Instituto Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do diploma de Tecnólogo em Fabricação Mecânica.

Orientador: Cassiano Rodrigues Moura, Me

JARAGUÁ DO SUL

Dezembro de 2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor

Santos, Lucas dos

Aplicação da metodologia DFM/A no reprojeto de uma máquina ensacadeira: Abordagem Voltada a Redução de Custos/ Lucas dos Santos ; orientação de Cassiano Rodrigues Moura. Jaraguá do Sul, SC, 2022.

83 p.

Trabalho de Conclusão de Curso – Instituto Federal de Santa Catarina, Câmpus Jaraguá do Sul – Rau. Tecnologia em Fabricação Mecânica.

Inclui referências.

1. Ensacadeira 2. Metodologia de Projeto. 3. DFM/A. 4. Redução de Custos 5. Projeto de Máquinas. I. Cassiano Rodrigues Moura. II. Instituto Federal de Santa Catarina. IV. Título.

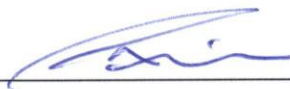
LUCAS DOS SANTOS

APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DFM/A NO REPROJETO DE UMA MÁQUINA
ENSACADEIRA:

Abordagem Voltada a Redução de Custos

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título em Tecnólogo em Fabricação Mecânica, pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, e aprovado na sua forma final pela comissão avaliadora abaixo indicada.

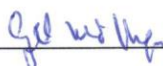
Jaraguá do Sul, 09 de dezembro de 2022.



Prof. Cassiano Rodrigues Moura, Me.
Orientador
IFSC – Campus Jaraguá do Sul - RAU



Prof. Edson Sidnei Maciel Teixeira, Dr.
IFSC – Campus Jaraguá do Sul - RAU



Prof. Gil Magno Portal Chagas, Dr.
IFSC – Campus Jaraguá do Sul - RAU

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a minha família, que sempre esteve ao meu lado, me apoiando incentivando e acreditando, principalmente aos meus pais que sempre apoiaram, me incentivaram e cobraram os estudos.

Agradeço também todos os professores e servidores que participaram da minha caminhada na graduação, em especial ao professor Cassiano Rodrigues Moura, pelo apoio e por agregar muitos conhecimentos para o desenvolvimento deste trabalho.

RESUMO

Com a ampliação da concorrência no setor de fabricação de máquinas ensacadeiras, viu-se a necessidade da realização de projetos otimizados e com menor custo, para isso existem diversos métodos e ferramentas que podem ser utilizados durante o projeto do equipamento. Neste sentido este trabalho tem como objetivo utilizar os métodos de DFM/A para reprojeter uma ensacadeira disponível no mercado, reduzindo número de componentes, elementos de fixação e simplificando os projetos das peças, para com isto atingir redução no custo total do equipamento. O fluxo metodológico adotado neste trabalho dividiu-se em três principais etapas, sendo a fase inicial de análise do projeto atual, onde buscou-se dividir a máquina em subconjuntos, obtendo os dados de custos de suas partes, bem como a definição dos subconjuntos que serão otimizados, na segunda fase realizou-se as alterações do projeto, remodelando os subconjuntos por meio do *software Solidworks* e após o projeto pronto, buscou-se orçar os custos dos novos itens criados. Por fim na terceira etapa ocorreu a análise do reprojeto, essa fase foi composta pela avaliação do processo de montagem, pela validação da resistência mecânica de componentes estruturais que sofrem esforços, por meio do *software Solidworks Simulation* e pôr fim a comparação entre o projeto base e o novo projeto. Com este estudo, dentre os resultados pode-se constatar a funcionalidade da aplicação de métodos do DFM/A no reprojeto de máquinas e equipamentos, onde foi possível diminuir em 75,39% o número de peças do projeto; a quantidade de elementos de fixação obteve redução de 70,28%; e o custo total do equipamento foi reduzido em 52,13% quando comparado ao projeto original, também foram positivos os resultados em relação a montagem da máquina, tendo relação direta com a diminuição dos componentes e elementos de fixação.

Palavras-chave: Ensacadeira; Metodologia de Projeto; DFM/A; Redução de Custos; Projeto de Máquinas.

ABSTRACT

With the expansion of competition in the manufacturing sector of bag-filling machines, there was a need to carry out optimized projects at a lower cost, for which several methods and tools can be used during the equipment design. In this sense, this study aims to use the DFM/A guidelines to redesign a bag-filling machine available on the market, reducing the number of components, fastening elements, and simplifying the projects of the parts, to achieve a reduction in the total cost of the equipment. The methodological sequence adopted in this work was divided into three main stages, being the initial phase of analysis of the current project, where the bag-filling machine was divided into sub-assemblies, obtaining the cost data of its parts, as well as the definition of the subsets that will be optimized, in the second phase the project changes were carried out, remodeling the subsets through the Solidworks software and after the project was ready, it was sought to budget the costs of the new items created. Finally, in the third stage, the analysis of the redesign took place, this phase consisted of the evaluation of the assembly process, the validation of the mechanical strength of structural components that undergo efforts, through the Solidworks Simulation software, and putting an end to the comparison between the base project and the new project. With this study, among the results, it is possible to verify the functionality of the application of DFM/A guidelines in the redesign of machines and equipment, where it was possible to reduce the number of project parts by 75.39%; the number of fasteners was reduced by 70.28%, and the total cost of the equipment was reduced by 52.13% when compared to the original project, the results were also positive concerning the assembly of the machine, having a direct relationship with the reduction of components and fasteners.

Keywords: Bag-filling machine; Project methodology; DFM/A; Cost Reduction; Machine Design.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Aplicação do DFM – a) antes; b) depois	19
Figura 2 - Redução no tempo de projeto	21
Figura 3 - Representação do custo do produto	22
Figura 4 - Fluxo de aplicação do DFMA durante o projeto de produtos.	23
Figura 5 - Projeto original lavadora	25
Figura 6 - Projeto lavadora após aplicação do DFMA.	26
Figura 7 - Fluxo metodológico adotado nesta pesquisa.	30
Figura 8 – Ensacadeira.	32
Figura 9 - Subconjunto acionamento.	33
Figura 10 - Subconjunto Bico.	34
Figura 11 - Subconjunto Carenagens.	34
Figura 12 - Subconjunto Comando.	35
Figura 13 - Subconjunto dosagem.	35
Figura 14 - Subconjunto estrutura.	36
Figura 15 - Subconjunto expulsador.	36
Figura 16 - Subconjunto IHM.	37
Figura 17 - Subconjunto painel elétrico.	37
Figura 18 - Subconjunto pesagem.	38
Figura 19 - Subconjunto pneumático.	38
Figura 20 - Subconjunto prendedor.	39
Figura 21 - Diagrama de Pareto relacionado a custo.	41
Figura 22 - Diagrama de Pareto relacionado a quantidade de peças.	42
Figura 23 - Máquina Ensacadeira Re projetada.	43
Figura 24 - Comparação entre projetos do subconjunto dosagem.	44
Figura 25 - Comparação entre projetos do subconjunto estrutura.	45
Figura 26 - Comparação entre projetos do subconjunto dosagem pesagem.	46
Figura 27 - Comparação entre projetos do subconjunto acionamento.	47
Figura 28 - Comparação entre projetos do subconjunto painel.	48
Figura 29 - Comparação entre projetos do subconjunto expulsador.	49
Figura 30 - Comparação entre projetos do subconjunto carenagem.	50
Figura 31 - Comparação entre projetos do subconjunto acionamento / painel IHM. .	51
Figura 32 - Comparação entre projetos do subconjunto prendedor.	52

Figura 33 - Comparação entre projetos do subconjunto bico.....	53
Figura 34 - Vista explodida montagem completa da ensacadeira após reprojetado.	55
Figura 35 - Vista explodida montagem do subconjunto dosagem.....	56
Figura 36 - Vista explodida montagem componentes do subconjunto dosagem.....	57
Figura 37 - Vista explodida em corte do subconjunto dosagem.	58
Figura 38 - Vista explodida do subconjunto pesagem.....	59
Figura 39 - Vista explodida expulsador.....	60
Figura 40 - Vista explodida painel IHM.....	61
Figura 41 - Preparação da simulação – a) Pontos de fixações; b) ponto de aplicação da carga.	62
Figura 42 - Resultado da simulação – a) Deslocamento máximo subconjunto pesagem; b) tensão máxima do subconjunto de pesagem.	63
Figura 43 - Resultado da simulação – a) Deslocamento máximo chapa dosagem; b) tensão máxima chapa dosagem.....	64
Figura 44 - Preparação simulação da estrutura.	65
Figura 45 - Resultado da simulação da estrutura.....	65
Figura 46 - Comparativo entre projetos – a) antes da aplicação do DFMA; b- após DFMA.	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Métodos de projeto ótimo integrado de produtos industriais.	17
Tabela 2 - Resultados obtidos após aplicação das ferramentas.....	27
Tabela 3 - Custos dos conjuntos mecânicos.	40
Tabela 4 - Custos dos conjuntos mecânicos do reprojeto.	54
Tabela 5 - Variação na quantidade de peças.....	67
Tabela 6 - Variação na quantidade de elementos de fixação.	67
Tabela 7 - Diferença custos.	68
Tabela 8 - Resumos dos resultados obtidos.....	68

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AV - Análise de valor

CAD - *Computer aided design*

DFA - *Design for assembly*

DFM - *Design for manufacture*

DFM/A – *Design for Manufacture / Assembly*

DFX - *Design for X*

ERP - *Enterprise Resource Planning*

FMEA - *Failure Mode and Effect Analysis*

IHM - Interface Homem Máquina

Kg – Quilograma

MPa – Mega Pascal

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Objetivos	14
1.1.1 Objetivo geral	14
1.1.2 Objetivo específico	14
2 REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1 Processo de Desenvolvimento de Produto.....	15
2.2 Ferramentas de DFX.....	17
2.2.1 Projeto para fabricação (<i>Design for manufacture</i>).....	18
2.2.2 Projeto para montagem (<i>Design for assembly</i>)	19
2.2.3 DFM/A	20
2.2.4 Trabalhos correlatos com aplicação de metodologia DFM/A.....	23
2.2.4.1 Aplicação em projeto de Secadora centrífuga	24
2.2.4.2 Aplicação em projeto de Elevador de Carga	26
2.3 Ensacadeiras.....	27
2.3.1 Transportadores helicoidais.....	28
2.3.2 Sistema de pesagem industrial por meio de células de carga.....	28
3 METODOLOGIA.....	30
4 DESENVOLVIMENTO.....	32
4.1 Análise do projeto atual	32
4.1.1 Divisão da máquina em conjuntos.....	32
4.1.2 Levantamento de custos	39
4.1.3 Definição dos conjuntos a serem reprojitados.....	41
4.2 Alterações do Projeto - Remodelamento em Solidworks.....	42
4.2.1 Dosagem	43
4.2.2 Estrutura.....	44
4.2.3 Pesagem	45
4.2.4 Acionamento.....	46
4.2.5 Painel Elétrico	47
4.2.6 Expulsador	48
4.2.7 Carenagem.....	49
4.2.8 Pneumática	50
4.2.9 Painel IHM e Comando	50
4.2.10 Prendedor.....	51

4.2.11 Bico.....	52
4.3 Orçamento de custos do novo projeto.....	53
4.4 Análise do reprojeto.....	54
4.4.1 Avaliação do processo de montagem.....	54
4.4.2 Validação dos resultados com <i>Solidworks Simulation</i>	61
4.4.3 Comparação entre projetos.....	66
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	69
REFERÊNCIAS.....	71
APÊNDICE A - AUTORIZAÇÃO PARA REALIZAÇÃO DE PESQUISA	73
APÊNDICE B – TABELA DE CUSTOS COMPLETO PROJETO ORIGINAL	74
APÊNDICE C - TABELA DE CUSTOS COMPLETO REPROJETO.....	80

1 INTRODUÇÃO

A criação e evolução das máquinas, possibilitou diversos avanços, sendo exigidos níveis de produção cada vez mais rápidos e precisos, permitindo manter um padrão de qualidade do produto final. As máquinas ensacadeiras não fogem à regra, sendo um equipamento importante no final da cadeia produtiva de diversos segmentos. São esses equipamentos que garantem que o volume anunciado e vendido é o mesmo que está dentro da sacaria que chega ao consumidor.

Frente a ampla concorrência no setor de máquinas ensacadeiras, viu-se a necessidade de aprimorar o projeto da máquina deste estudo, visando realizá-lo com qualidade igual ou superior, porém com um custo equiparado ou menor aos demais fabricantes deste tipo de máquina, sendo esse um processo de importância para uma empresa com pouco tempo de mercado no setor de máquinas ensacadeiras.

Para tal objetivo, existem diversos métodos dentro da área de desenvolvimento de produtos que podem auxiliar o projetista na obtenção do resultado esperado, o DFM/A ou projeto para fabricação e montagem. O uso do DFM/A é um importante aliado para os projetistas durante a realização de projeto, com o uso desta metodologia é possível desenvolver projetos mais simplificados, visando diminuir quantidade de peças, quantidade de montagens e fixações, resultando na diminuição dos custos.

DFM/A também entra no mérito da fabricação, segundo Boothroyd *et al.* (2011) este considera necessário desenvolver projetos que sejam o mais fácil possível de fabricar, diminuindo número de processos, o que conseqüentemente resultará também em um menor custo final.

Sendo uma máquina que apresenta baixo volume de venda, a aplicação de uma metodologia como DFM/A pode ser estratégica para aumentar a quantidade vendida do produto em questão neste trabalho, atingindo clientes antes indispostos por conta do elevado custo em relação a concorrentes.

O desenvolvimento deste estudo ocorreu no setor de engenharia da empresa fabricante do equipamento analisado, situada em Jaraguá do Sul, esta tem como atividade a fabricação de máquinas empacotadoras, enfardadeiras, ensacadeiras, encaixotadoras e sistemas de paletização para uma variada gama de clientes.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo aplicar métodos de DFM/A (*Design for Manufacture and Assembly*) para reprojeter uma máquina ensacadeira de rosca sem fim, buscando a otimização de seus componentes, reduzindo número de peças, padronizando componentes e conseqüentemente reduzindo custos para se obter competitividade no mercado.

1.1.2 Objetivo específico

- Análise do projeto atual
- Alterações do projeto
- Análise do reprojeto

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Processo de Desenvolvimento de Produto

Segundo Rozenfeld *et al.* (2006), o processo de desenvolvimento de produtos é um conjunto de ações realizadas, visando especificar o projeto de um produto final, levando em consideração as necessidades de mercado, apontando soluções que satisfaçam as mesmas. Assim devido aos constantes avanços tecnológicos na indústria, torna-se cada vez mais importante o processo de desenvolvimento de produto, pautado em metodologias e ferramentas previamente definidas em literaturas técnicas, pois por meio desses processos, torna-se possível desenvolver produtos que se mantenham competitivos no mercado (ROZENFELD *et al.*, 2006).

Além das necessidades do mercado, é necessário desenvolver um produto levando em consideração as tecnologias disponíveis para fabricação, bem como entender de que forma as aplicar para obter um produto final com qualidade satisfatória e competitiva ao mercado em que este estará. Considerando também questões de custo, é necessário que o produto seja de mais fácil fabricação possível, consumindo menos recursos (ROZENFELD *et al.*, 2006).

Para Baxter (2000), a metodologia para desenvolvimento de produto, também tem como objetivo, antecipar uma provável falha do projeto. Ter expectativas realísticas sobre o novo produto, analisar a disponibilidade de tecnologia para fabricação, mão de obra e necessidade do mercado, estes são tópicos que podem definir o sucesso de um produto.

Pahl *et al.* (2005) abordam que no desenvolvimento de produtos é necessário o uso de metodologias planejadas e que sejam aplicadas de forma sistemática seguindo condutas que devem ser levadas em consideração durante o projeto. Estas metodologias devem ser aliadas aos conhecimentos e experiência do projetista, proporcionando liberdade à capacidade inventiva do profissional, desta forma, potencializando a qualidade dos projetos. Segundo os autores, a metodologia de projeto deverá ser aplicável em qualquer área de especialidade, sendo compatível com metodologias de outras disciplinas, criando soluções ótimas e que não devem ser por atingidas por acaso.

Rozenfeld *et al.* (2006) desenvolveu um modelo unificado de processo de desenvolvimento de produto, compilando diversos conhecimentos obtidos por estudos

de casos, modelos, experiências e boas práticas de desenvolvimento. O método é dividido em macro fases, sendo elas divididas em fases e atividades, estas macros fases são: Pré-Desenvolvimento; Desenvolvimento; e Pós-Desenvolvimento.

A macro fase de Pré-Desenvolvimento tem início com o planejamento estratégico da corporação, e tem como principais objetivos, definir portfólio de produtos com base no planejamento estratégico e requisitos do mercado, bem como a definição das metas do projeto de forma clara, evitando o desvio de objetivo do produto desenvolvido.

Já na macro fase de Desenvolvimento é onde acontece o projeto do produto propriamente dito, partindo desde o estabelecimento da equipe envolvida, passando pelas fases de projeto informacional em que se levanta as especificações técnicas necessárias do produto, pela fase de projeto conceitual, onde é desenvolvido o escopo do projeto, posteriormente o projeto detalhado, fase onde o projeto do produto é especificado para a fabricação. Na sequência à fase de preparação de produção, são definidos os processos e recursos necessários para fabricação dos modelos e por fim o lançamento do produto no mercado.

Por fim na macro fase de Pós-desenvolvimento é onde se acompanha todo o ciclo de vida restante do produto a partir do lançamento, a macro fase se inicia com o acompanhamento do produto no mercado, que inclui as diretrizes para se prestar assistência técnica quando necessário. É importante que, nesta fase o pessoal envolvido no desenvolvimento do produto acompanhe o mesmo no mercado, desta forma, mantendo memória do projeto e adquirindo experiências práticas que podem auxiliar em futuros desenvolvimentos. Esta macro fase finaliza com a etapa de descontinuação do produto, onde se planeja a retirada do produto do mercado, seu fim de vida.

No método de PDP proposto por Rozenfeld et al. (2006), existem ferramentas que auxiliam as fases de desenvolvimento, entre estes se destacam as técnicas de DFX (*Design for X*) conhecidos em português como “Projeto para X”, estas são ferramentas que dão suporte ao projetista durante o projeto conceitual do produto, podendo direcionar o projeto para uma abordagem específica de uma ou várias características do produto, como projetos considerando fabricação e montagem amplamente encontrados na literatura.

2.2 Ferramentas de DFX

Design for X (DFX) é um termo que generaliza diversas técnicas para auxiliar o processo de desenvolvimento de produtos, sendo o X uma variável, como as utilizadas em equações matemáticas, onde o “X” pode ser substituído por características que se pretende otimizar no produto, por exemplo *Design for Assembly* (DFA) e *Design for Manufacture* (DFM) (HUANG, 2012). Huang (2012) apresenta uma definição genérica para DFX, segundo o autor este seria a tomada de decisões durante o desenvolvimento de produtos, levando em consideração as características do produto e os processos envolvidos.

Para Rozenfeld *et al.* (2006) o DFX é utilizado na realização de projetos para tomada de decisões, por ser um conjunto de regras e/ou diretrizes que entregam dados de custos, produtividade e desempenho dos produtos, sendo também uma ferramenta utilizada para implantação da engenharia simultânea.

Back *et al.* (2008) descreve o *Design for X* como otimização integrada do produto, considerando de forma simultânea fatores que melhoram o produto durante todo o ciclo de vida. Para tal, é necessário que o produto atenda alguns atributos definidos pelos usuários, com o objetivo de atender a estes critérios, diversos métodos sistemáticos foram elaborados para uso durante o desenvolvimento, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Métodos de projeto ótimo integrado de produtos industriais.

Nome do método em português	Nome do método em inglês	Sigla
Projeto para configuração	<i>Design for configuration</i>	
Projeto para precisão	<i>Design for precision</i>	
Projeto para estética	<i>Design for aesthetics</i>	
Projeto para custo	<i>Design for cost/profit</i>	DFC
Projeto para robustez	<i>Design for robustness</i>	
Projeto para modularidade	<i>Design for modularity</i>	
Projeto para segurança e responsabilidade civil	<i>Design for safety/liability</i>	DFS
Projeto para padronização	<i>Design for standards</i>	
Projeto para teste	<i>Design for testability</i>	
Projeto para manufatura	<i>Design for manufacture</i>	DFM
Projeto para montagem	<i>Design for assembly</i>	DFA
Projeto para embalagem	<i>Design for packaging/transportability</i>	

Projeto para ergonomia	<i>Design for ergonomics</i>	
Projeto para confiabilidade	<i>Design for reliability</i>	
Projeto para inspeção	<i>Design for inspectability</i>	
Projeto para manutenção	<i>Design for maintenance</i>	
Projeto para logística	<i>Design for supportability</i>	
Projeto para meio ambiente / reciclagem / desmontagem	<i>Design for environment / recycling / disassembly</i>	DFE

Fonte: Adaptado de Back *et al.* (2008).

O projeto em estudo neste trabalho, levará em consideração os métodos de DFM e DFA, de forma integrada, DFM/A, tendo como objetivo simplificar e baratear um produto já existente, julgou-se adequado utilizar estas duas metodologias de forma a auxiliar no desenvolvimento do produto, portanto os próximos itens deste capítulo descrevem sobre projeto para fabricação e projeto para montagem de forma integrada. Engenharia Simultânea é a execução em paralelo entre desenvolvimento e processo de fabricação, sendo uma filosofia utilizada no desenvolvimento de produtos com princípios de trabalho em equipe, pregando cooperação e compartilhamento de conhecimentos entre os membros da equipe envolvida no projeto, sendo essa equipe composta também pelos clientes e fornecedores. Para tal metodologia deve se considerar todos os elementos do ciclo de vida do produto (ROZENFELD *et al.*, 2006).

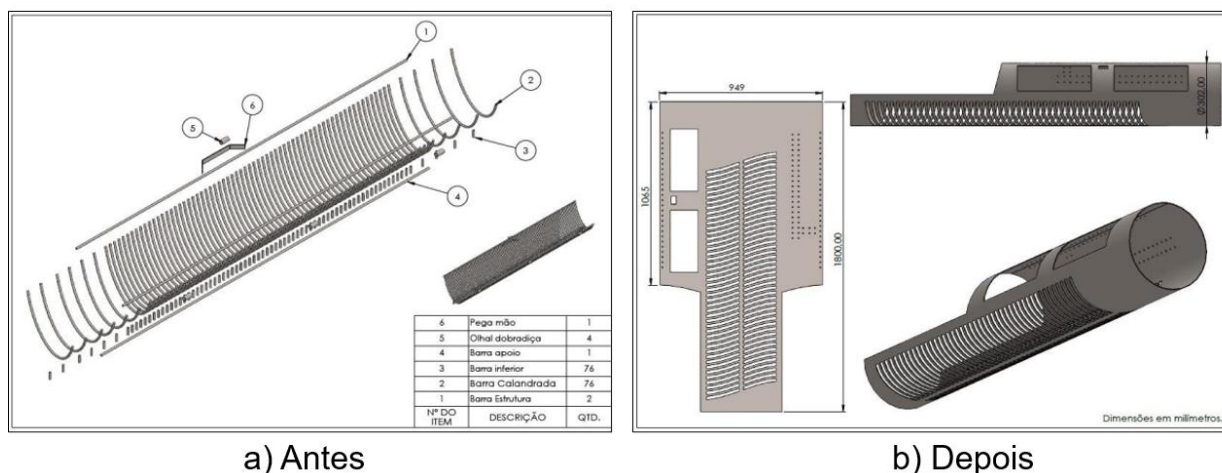
2.2.1 Projeto para fabricação (*Design for manufacture*)

De acordo com Boothroyd *et al.* (2011) o *Design for manufacture* (DFM), traduzido para “projeto para fabricação”, consiste em uma metodologia de projeto para a fabricação de componentes de um produto, visando maior facilidade para produção, selecionando materiais e processos adequados para o produto final, visando uma combinação que resulte no menor custo possível ao final da fabricação do componente.

Para Bralla (1998) uma aplicação efetiva do DFM possui dois principais aspectos, sendo primariamente uma análise do produto completo, com o objetivo de simplificar o seu projeto, por exemplo reduzindo o número de componentes, e o segundo aspecto é a análise individual de cada parte do produto, com o objetivo de melhorar sua manufatura, tornando-o o mais simples possível. Um exemplo do uso de DFM, realizado por Silva (2019), onde é realizada a simplificação de um conjunto denominado pelo autor como “grade”. Antes da análise a peça era composta por

diversas barras de aço calandradas e soldadas; e após aplicação dos conceitos do DFM, modificou-se a fabricação para uma forma mais simples, utilizando corte laser em uma chapa de aço e calandragem para dar formato cilíndrico. A Figura 1 mostra o antes e depois do componente em questão.

Figura 1 - Aplicação do DFM – a) antes; b) depois



a) Antes

b) Depois

Fonte: Adaptado de (SILVA, 2019)

2.2.2 Projeto para montagem (*Design for assembly*)

Boothroyd et al. (2011) define o *Design for assembly* (DFA), traduzido como “projeto para montagem”, como sendo um método para a facilidade da montagem de um produto, que deve ser principalmente utilizada nos estágios iniciais do projeto, em que é possível de forma fácil realizar alterações. A montagem manual de um produto pode ser dividida em duas fases, a de manipulação e de inserção ou fixação, para essas duas fases, algumas diretrizes são definidas por Boothroyd et al. (2011) e serão descritas a seguir.

Levando em consideração a manipulação das partes de um conjunto, o projetista deve projetar os componentes com o máximo de simetria possível, quando isto não é possível, deve-se realizar um design que deixe claro a assimetria da peça. Questões de armazenamento também entram no mérito da manipulação, deve-se projetar peças que não emperrem ao serem empilhadas e que não se tornem um emaranhado quando armazenadas juntas. Deve-se evitar também peças muito pequenas ou muito grandes e que tragam riscos à segurança de quem a está manipulando. (Boothroyd et al., 2011).

Boothroyd *et al.* (2011) afirma que o uso da metodologia DFA traz resultados positivos ao processo de montagem do projeto, sendo essas melhorias consequência da redução de peças do conjunto e simplificação do projeto. Para atingir a melhoria por meio do DFA, o projetista deve analisar cada peça do projeto, Boothroyd *et al.* (2011) sugere três questionamentos que servem de forma orientativa à realização do projeto:

- a) A peça analisada se move em relação a todas as outras peças já montadas durante a operação do produto?

Para este critério somente movimentos grosseiros devem ser considerados, movimentos de baixa amplitude que podem ser acomodados por elementos elásticos, por exemplo, são desconsiderados.

- b) A peça deve ser de material diferente ou ser isolada das outras peças já montadas no produto?

Para uma resposta positiva, razões fundamentais relacionadas com as propriedades do material são aceitáveis.

- c) Para que seja possível desmontar outras partes do sistema, a peça deve ser separada das demais?

Após a análise de cada componente por parte do projetista, é necessário que o mesmo justifique a existência de peças no sistema que não satisfazem os critérios anteriores, podendo considerar razões práticas, técnicas ou econômicas para o uso do componente fora dos critérios, por exemplo materiais e processos disponíveis para fabricação. Portanto, é prudente utilizar DFM e DFA de forma conjunta, possibilitando análises voltadas tanto para facilidade de montagem quanto para simplicidade de fabricação.

2.2.3 DFM/A

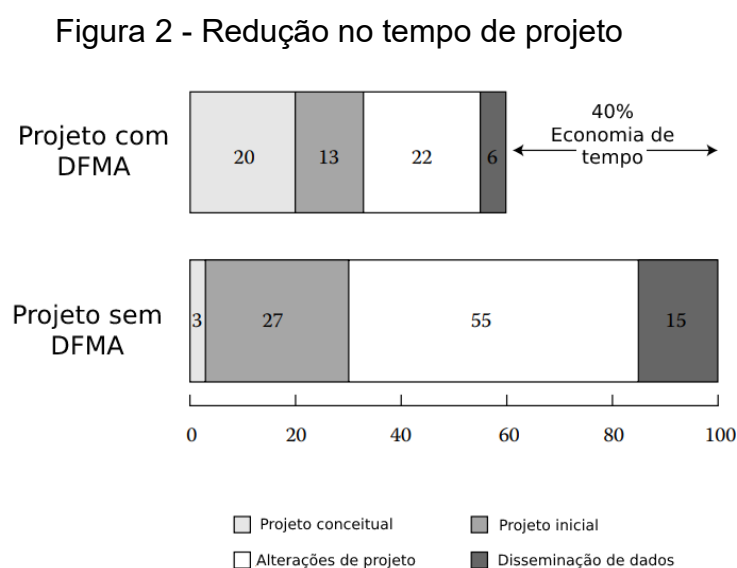
A junção dos termos *Design for Manufacture* (DFM) e *Design for Assembly* (DFA), formam o DFMA, sendo o DFM focado na análise com o intuito de facilitar a fabricação de um conjunto de componentes, e o DFA com o foco na simplificação dos processos de montagens dos componentes fabricados para uma determinada função. (BOOTHROYD *et al.*, 2011).

O desenvolvimento do DFMA iniciou-se nos anos 1970, com pesquisas voltadas para montagem automatizada, a ideia inicial foi o desenvolvimento de um método para auxiliar os projetistas na realização projetos de produtos voltados a facilidade de montagem e fabricação dos componentes. (BOOTHROYD *et al.*, 2011).

No entanto, segundo Boothroyd *et al.* (2011) estes dois conceitos se mostraram contraditórios, pois, levando em consideração a facilidade da fabricação de uma peça, a mesma deve ser de forma mais simples possível, mas ao avaliar pela ótica geral do produto final, ou seja, a montagem, percebeu-se que em determinados casos é mais interessante a redução no número total de componentes do conjunto, mesmo que necessite de componentes mais complexos.

Como descrito por Boothroyd *et al.* (2011), a essência da metodologia DFMA é a capacidade do projetista estimar custos de montagem e fabricação das peças ainda nos estágios iniciais do projeto do produto em desenvolvimento.

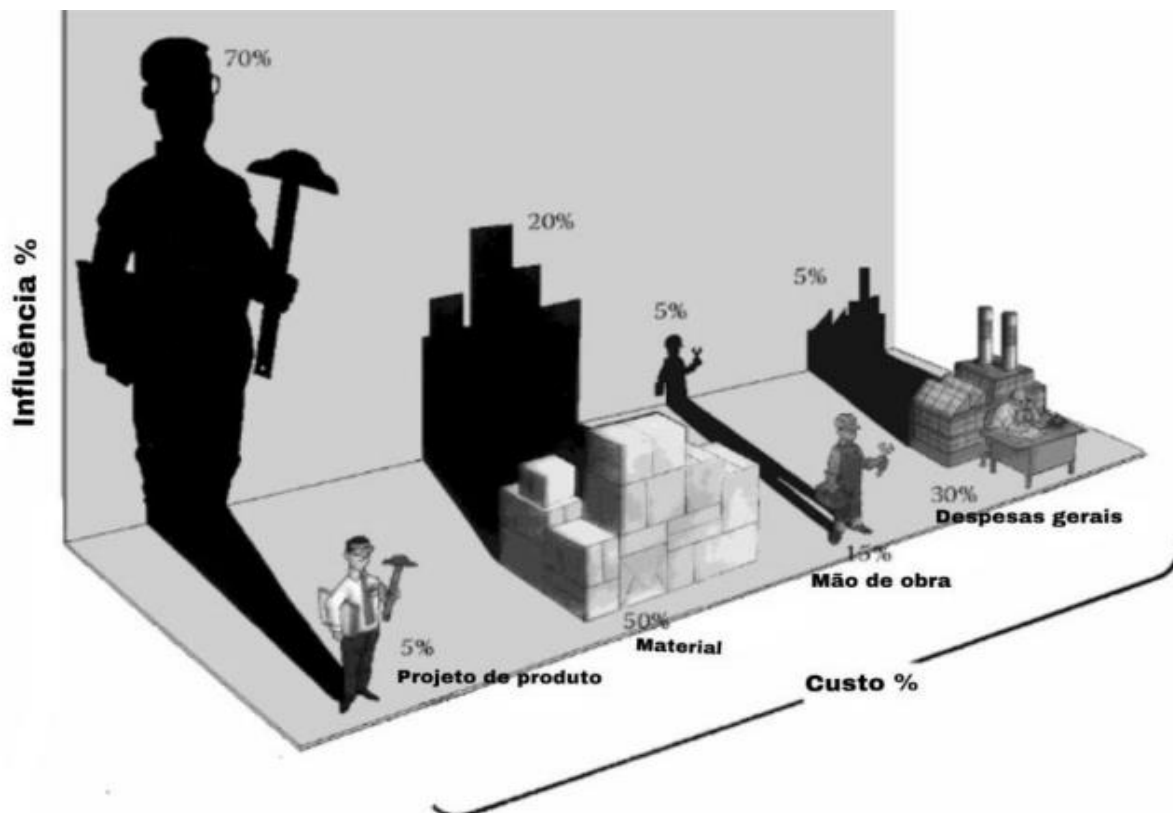
As considerações quanto a fabricação e a montagem durante o projeto do produto devem ocorrer o mais cedo possível no ciclo de projeto pois o tempo gasto no início do processo de design é compensado pela economia de tempo durante a prototipagem e montagem, com isso além de reduzir os custos do produto, a aplicação do DFMA diminui o tempo de lançamento do produto no mercado. A Figura 2 apresenta de forma gráfica a redução de tempo para lançamento do produto. (BOOTHROYD *et al.*, 2011).



Fonte: Adaptado de BOOTHROYD *et al.*, (2011)

Outra razão para qual a consideração da fabricação e montagem deve ser levada em conta no início do ciclo de projeto é por esta fase representar mais de 70% na influência dos custos do produto final, conforme ilustrado na Figura 3 (BOOTHROYD *et al.*, 2011).

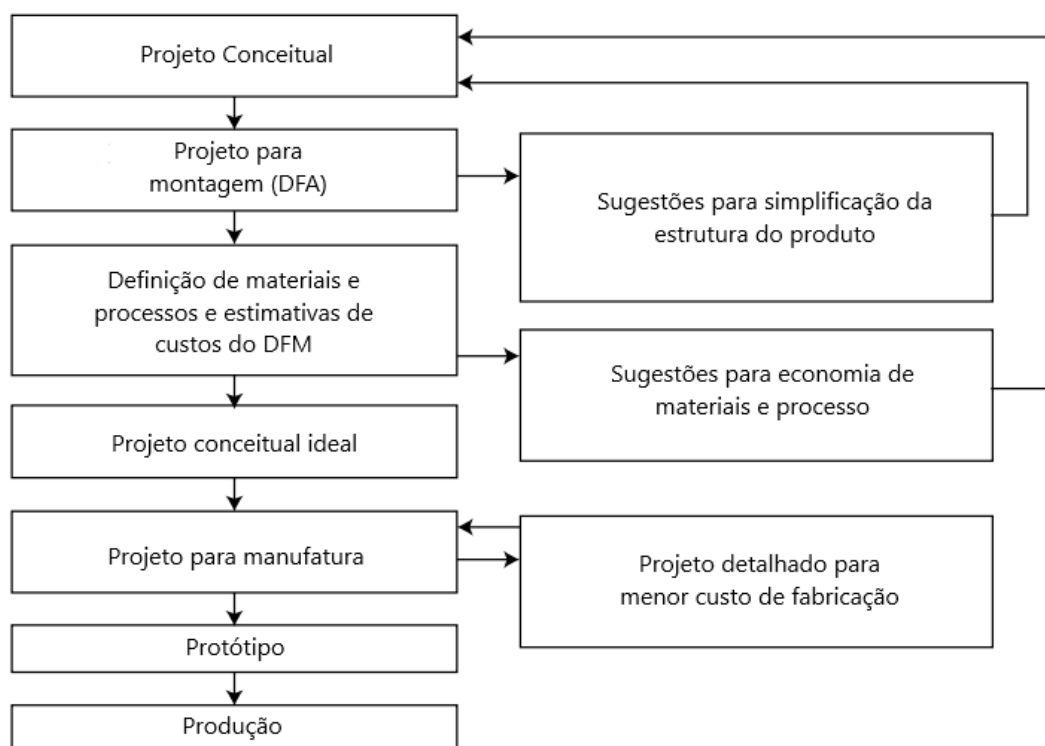
Figura 3 - Representação do custo do produto



Fonte: Adaptado de Boothroyd *et al.*, (2011)

Segundo Boothroyd *et al.* (2011), as etapas comumente utilizadas para aplicação de DFMA são descritas no fluxograma da Figura 4, primariamente a análise DFA é realizada levando a uma simplificação da estrutura geral do produto, subsequentemente a análise DFM realiza estimativas iniciais de custo das peças, tanto para o projeto original quanto para o projeto a ser otimizado, a fim de tomar decisões quanto aos melhores materiais e processos a serem utilizados para as várias peças.

Figura 4 - Fluxo de aplicação do DFMA durante o projeto de produtos.



Fonte: Adaptado de Boothroyd *et al.*, (2011)

No contexto do projeto desenvolvido neste trabalho, serão principalmente utilizados conceitos voltados para diminuição do número de componentes, redução e padronização de elementos de fixação, simplificação de partes e redução de processos, definição de materiais econômicos e utilização de padrões de mercado.

2.2.4 Trabalhos correlatos com aplicação de metodologia DFM/A

Esta seção do capítulo 2 tem como objetivo, apresentar exemplos práticos da aplicação da metodologia DFMA em variados tipos de produtos encontrados na literatura, desta forma, auxiliando para a validação da eficácia do método para a redução de componentes e custos dos produtos, e servir de comparativo aos métodos utilizados no desenvolvimento deste trabalho.

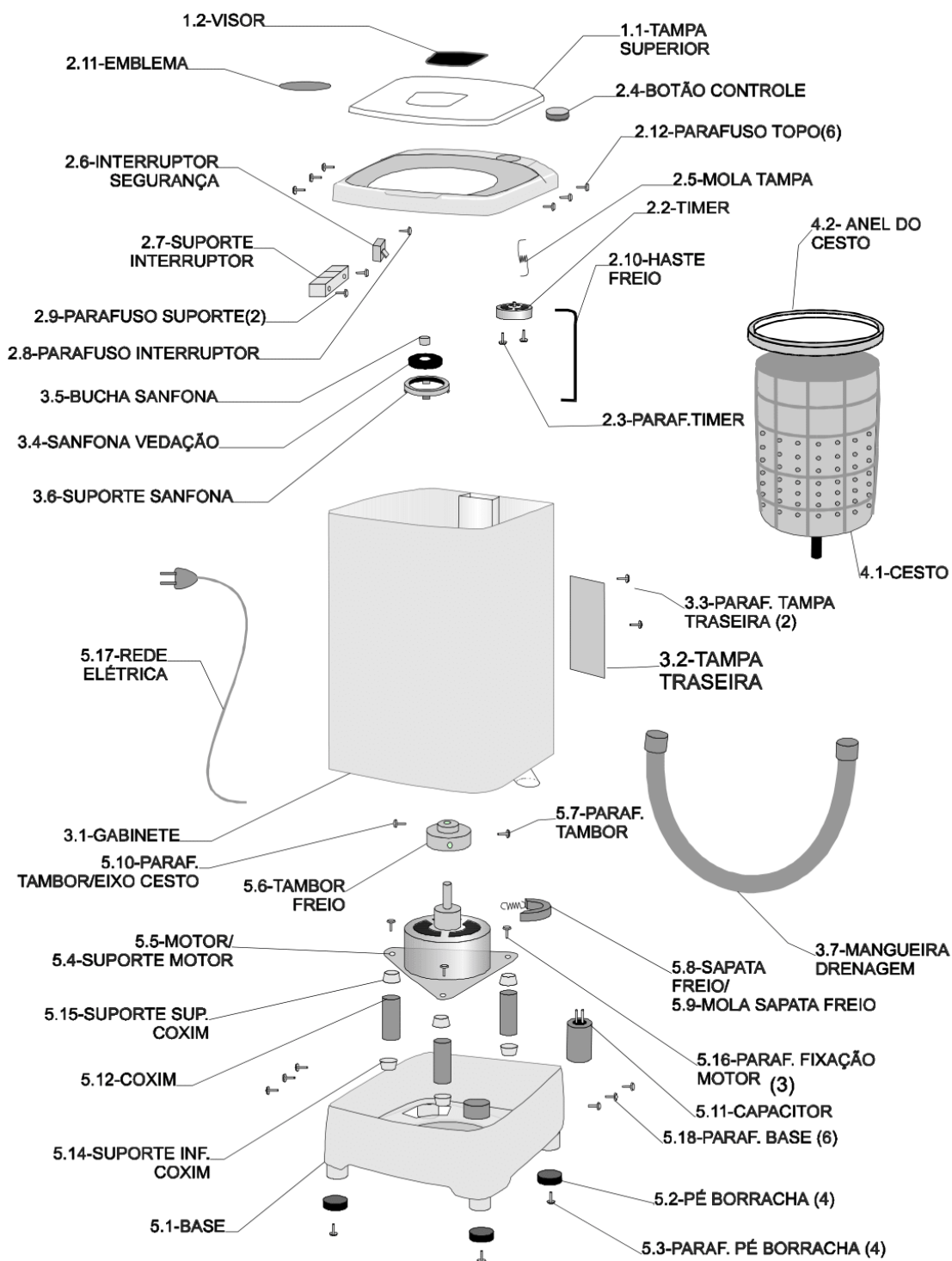
2.2.4.1 Aplicação em projeto de Secadora centrífuga

FINOTTI *et al.* (1999) aplicaram a metodologia DFM/A de Boothroyd a uma máquina secadora centrífuga com o objetivo de reduzir custos de montagem, reduzir o número de componentes, realizar melhorias nos processos de desenvolvimento e padronizar componentes.

Visou-se realizar uma aplicação prática do DFM/A, com o auxílio do *software Design 4*, desenvolvido pela *Boothroyd – Dewhurst, Inc[®]*, em um produto fabricado pela empresa descrita no trabalho, fornecendo dados reais ao reprojeto do produto e discutindo a eficácia da aplicação da metodologia DFMA. Os resultados obtidos pelos autores foram satisfatórios, tendo redução no número de componentes do projeto e simplificação do mesmo, notando que muitos dos componentes originais do projeto eram desnecessários. Com isto obteve-se também maior facilidade para o processo de montagem da centrífuga, diminuição de itens no almoxarifado e conseqüentemente redução dos custos totais.

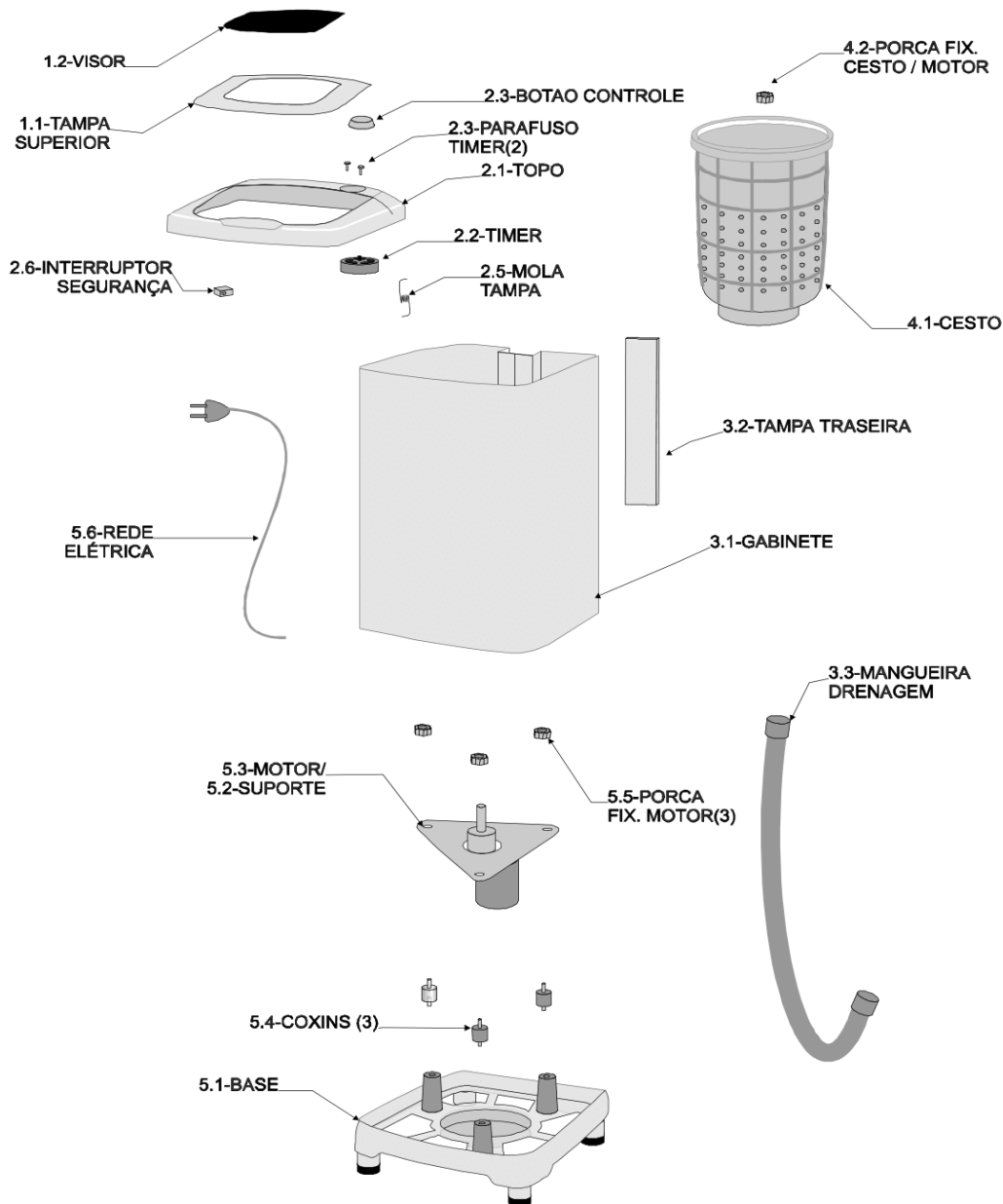
O projeto original do produto em questão possuía 28 elementos de fixação (porcas e parafusos) e 66 peças; com a aplicação do DFMA, reduziu-se para 6 as porcas e parafusos, o número total de peças caiu para 23 itens, obtendo uma redução de 70% nos elementos de fixação e 61% no número de peças. A Figura 5 e Figura 6 de forma ilustrativa, mostram o resultado obtido pelos autores, nestas podem se observar claramente a redução e simplificação do projeto, confirmando a eficácia do método.

Figura 5 - Projeto original lavadora



Fonte: Finotti *et al.* (1999)

Figura 6 - Projeto lavadora após aplicação do DFMA.



Fonte: Finotti *et al.* (1999)

2.2.4.2 Aplicação em projeto de Elevador de Carga

Os autores Ferreira e Camargo (2013) desenvolveram um trabalho focado na melhoria do projeto de um elevador de carga, visando reduzir custo de fabricação e torná-lo mais competitivo no mercado consumidor. Foram utilizados três métodos para o reprojeto do elevador, sendo o DFM/A, a AV (Análise de valor), e o FMEA de projeto.

Aplicando os métodos AV e DFM/A, os autores reduziram 48% dos componentes do produto original, entre chapas de proteção, portas sanfonas e rampas, obtendo uma redução de 54% no custo final do produto. A Tabela 2 exibe os resultados obtidos em relação à redução de peças de cada parte do elevador.

Tabela 2 - Resultados obtidos após aplicação das ferramentas.

DESCRIÇÃO DOS COMPONENTES	QUANTIDADE ORIGINAL	QUANTIDADE FINAL	QUANTIDADE REDUZIDA
TRILHO	2	2	0
CAIXA	1	1	0
PORTAS SANFONA	4	0	4
PORTAS COMUNS	4	4	0
CILÍNDRIO	2	2	0
HIDRÁULICA	1	1	0
CORRENTE	2	2	0
CHAPAS DE PROTEÇÕES	10	0	10
RAMPA DE ACESSO	2	0	2
BOTOEIRAS	2	2	0
ESTRUTURA	1	0	1
TOTAL DE COMPONENTES	31	14	16
TOTAL	R\$35.835,00	R\$25.635,00	R\$10.200,00

Fonte: Ferreira e Camargo (2013)

2.3 Ensacadeiras

O equipamento em estudo neste trabalho se trata de uma ensacadeira, estes equipamentos são máquinas destinadas ao ensaque de diversos tipos de produtos, de diversas características, geralmente utilizadas para grandes volumes, acima de 10Kg. Existem diversos tipos de ensacadeiras, sendo o tipo abordado neste trabalho o de ensacadeira de rosca sem fim. Ricardo (2017) descreve de forma geral uma ensacadeira como sendo um equipamento, composto de dosador de produto que segue um *software*, normalmente inserido em um controlador lógico programável (CLP), que produz uma determinada dosagem de produto e enchimento de sacaria de forma padrão e seriada.

A ensacadeira de rosca sem fim consiste em um sistema de transporte de produto, composto por um helicóide transportador acionado por um motor, e por meio do arraste leva o produto até a sacaria. Ao mesmo tempo que o produto é embalado ele também é pesado por meio de um sistema de pesagem baseado em uma célula de carga.

2.3.1 Transportadores helicoidais

Os transportadores helicoidais, são equipamentos destinados ao transporte de variados tipos de materiais a granel, e que tenham parâmetros de fluidez relativamente bons. O sistema consiste em um helicóide, montado em um tubo ou calha com uma folga específica entre os mesmos, que ao girar, por meio do atrito arrasta o produto na direção do sentido do helicóide (ANSI/CEMA, 2019). O primeiro transportador helicoidal que se tem registro foi o Parafuso de Arquimedes, sendo usado inicialmente para remover água do porão de um navio, e posteriormente para levar a água de um rio para plantações. Consistia em um sistema atuado manualmente por humanos, sendo colocado uma extremidade dentro da água, e a outra no local que se desejava depositá-la (ANSI/CEMA, 2019).

Atualmente existem diversos tipos de transportadores helicoidais, como os transportadores horizontais, inclinados e verticais. Os transportadores de rosca horizontais são os de uso mais comum, estão disponíveis em vários tamanhos e materiais construtivos, sendo ideal para transportar materiais secos e semifluidos, e possui um custo menor comparado a outros tipos (KWS MANUFACTURING COMPANY LTD, 2016).

Transportadores inclinados operam em um ângulo até 45 graus, conforme este valor aumenta, conseqüentemente os requisitos de potência para o acionamento também aumentam, e a capacidade de transporte reduz por conta da força exercida pela gravidade sobre o produto transportado, forçando-o no sentido oposto ao transporte (KWS MANUFACTURING COMPANY LTD, 2016).

Sistemas de transporte helicoidais dispostos em um ângulo superior a 45 graus passam a ser considerado transportadores verticais, este é um sistema muito eficiente para elevar diversos tipos de material a granel (KWS MANUFACTURING COMPANY LTD, 2016).

2.3.2 Sistema de pesagem industrial por meio de células de carga

Célula de carga é um conversor de força mecânica em um sinal elétrico mensurável. As células de carga do tipo *strain gage* são as mais comumente utilizadas em sistemas de pesagem industrial (Omega Engineering, 2022). A construção mais usual para células de carga é feita utilizando pontes de *Wheatstone* que se trata de

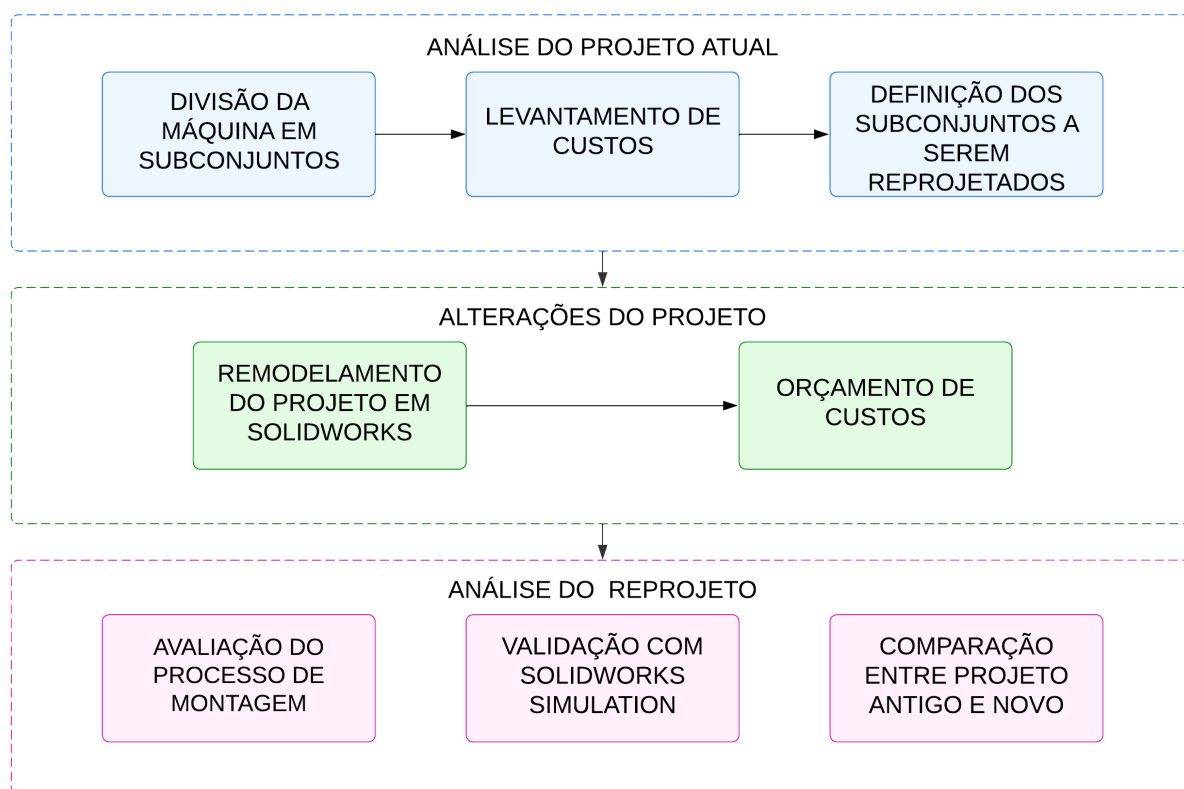
um esquema de montagem de elementos elétricos, este é composto por extensômetros que sofrem deformação de tração ou compressão o que gera variação da resistência elétrica, sendo este sinal convertido em um valor de massa, como quilogramas. (FIALHO *et.al*, 2014).

Conforme Ricardo (2017) os principais tipos de células de carga elétrica são as de compressão, tração, flexão e single point. O modelo utilizado no equipamento em questão neste trabalho é o Single Point. As células de carga *single point* reagem a carga aplicada apenas no ponto específico, geralmente uma das extremidades da célula sendo o peso não exercido na totalidade da célula, portanto a mesma é fixada em uma estrutura fixa, e um lado fica livre, podendo deformar e realizar a pesagem. (RICARDO, 2017)

3 METODOLOGIA

Nesta seção do trabalho está descrita a metodologia utilizada para a realização da parte prática, demonstrando de forma lógica as etapas necessárias para obtenção de um resultado satisfatório para o reprojeto da máquina ensacadeira. A Figura 7 descreve de forma gráfica as etapas do estudo.

Figura 7 - Fluxo metodológico adotado nesta pesquisa.



Fonte: do autor (2022)

A etapa de análise de projeto consiste no estudo do projeto original da máquina estudada nesta monografia, seccionando o projeto em subconjuntos para analisá-los de forma separada, utilizando a ferramenta *SolidWorks* para a identificação dos pontos de melhoria. Esta etapa contempla a obtenção dos custos do projeto, obtidos por meio do sistema ERP utilizado na empresa fabricante do equipamento analisado.

A máquina base para este projeto é fabricada por uma indústria de Jaraguá do Sul, Santa Catarina, presente no mercado de fabricação de máquinas empacotadoras, enfardadeiras e dosadores há 60 anos, que possui expansão para outros mercados de fornecimento de máquinas, como células de paletização, encaixotadoras e

ensacadeiras.

Seccionando a máquina em subconjuntos e obtendo seus custos, pode-se realizar a definição do foco das melhorias, com a utilização de gráficos, foi possível identificar os pontos que necessitam do foco das melhorias auxiliadas pela metodologia DFM/A. Com a obtenção dos dados da primeira etapa da pesquisa, pode-se realizar as alterações do projeto, criando modelos de maior vantagem econômica, facilitando a montagem e fabricação dos componentes do projeto. Para modelamento, utilizou-se o *SolidWorks*. Esta seção prevê também a obtenção dos custos do projeto alterado.

Após o reprojeto, pode-se realizar uma análise comparativa entre projeto antigo e novo, analisando o processo de montagem e indicando pontos notáveis de melhorias, e validar as alterações comparando os custos do projeto e quantidade de peças. Além da comparação de custos e quantidades de peças, o projeto passou por análise em *Solidworks Simulation*, dos componentes com maiores cargas aplicadas.

4 DESENVOLVIMENTO

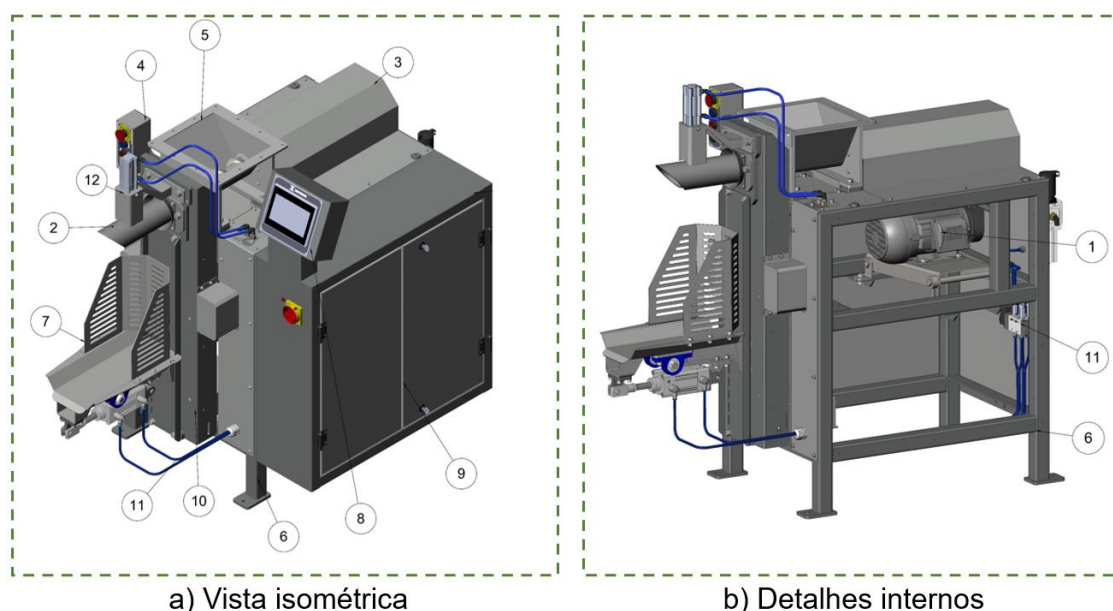
4.1 Análise do projeto atual

4.1.1 Divisão da máquina em subconjuntos

A máquina analisada neste projeto é uma ensacadeira de rosca sem fim, conforme mostra a Figura 8, destinada ao preenchimento de sacarias com um peso pré programado medido por sistemas de células de carga, podendo ensacar diversos tipos de materiais, como grãos e pós.

O produto a ser ensacado que vem da linha de produção, é recebido pela moega da máquina, em que possui a rosca transportadora, está faz a injeção do produto dentro de sacaria, ao mesmo tempo, o produto dentro da sacaria tem seu peso aferido por um sistema de células de carga, controladas por um controlador lógico programável. Ao atingir o peso desejado, a máquina libera a sacaria, podendo reiniciar o processo.

Figura 8 – Ensacadeira.



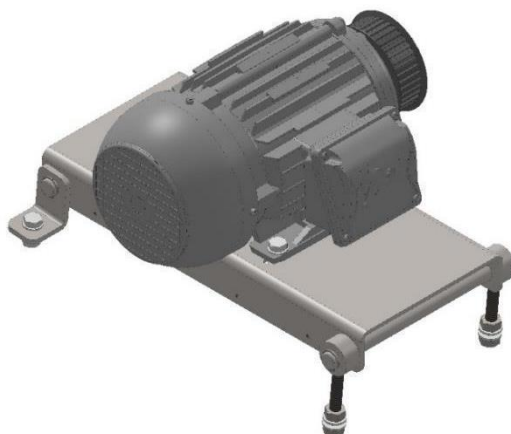
Fonte: do autor (2022)

Para o desenvolvimento deste trabalho, este equipamento foi seccionado em 12 subconjuntos numerados pelos balões na Figura 8, estes são descritos a seguir:

- 1) Acionamento;
- 2) Bico;
- 3) Carenagem;
- 4) Comando;
- 5) Dosagem;
- 6) Estrutura;
- 7) Expulsador;
- 8) IHM;
- 9) Painel;
- 10) Pesagem;
- 11) Pneumática;
- 12) Prendedor

O subconjunto denominado acionamento mostrado na Figura 9, consiste no motor; suportes; polias; correia e esticador, sua função é o acionamento da rosca dosadora na velocidade programada no inversor de frequência da máquina.

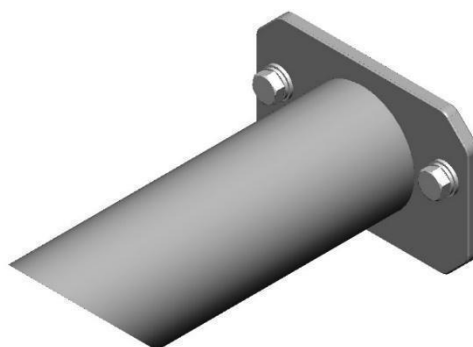
Figura 9 - Subconjunto acionamento.



Fonte: do autor (2022)

Para injeção do produto a ser dosado na ensacadeira é necessário um tubo em sua saída para dar suporte a sacaria, este é denominado de subconjunto bico, conforme mostra a Figura 10. Este é composto por um corpo tubular soldado a uma chapa metálica, seu diâmetro é compatível com a válvula de entrada de produto da sacaria utilizada.

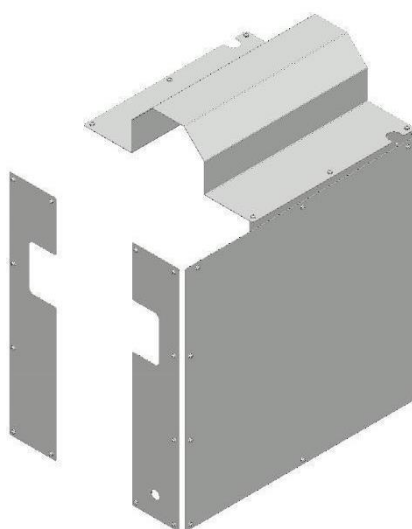
Figura 10 - Subconjunto Bico.



Fonte: do autor (2022)

Cumprindo funções estéticas e de adequação às normas de segurança descritas pela NR-12, tem-se o subconjunto de carenagens, que é composto de chapas metálicas com pintura epóxi, fixadas a estrutura da máquina por meio de conjuntos de parafusos com arruelas, conforme mostrado na Figura 11.

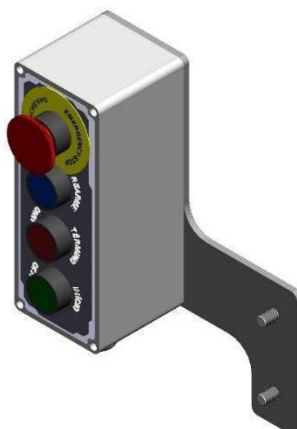
Figura 11 - Subconjunto Carenagens.



Fonte: do autor (2022)

Para operação da máquina utiliza-se quatro botões durante o processo, sendo estes, o botão ligar, desligar, rearme e emergência. Estes ficam dispostos em uma caixa fabricada em polímero, esta fica fixada a estrutura da máquina por meio de uma chapa suporte. A Figura 12 descreve o subconjunto.

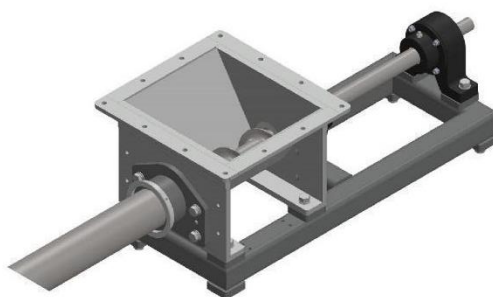
Figura 12 - Subconjunto Comando.



Fonte: do autor (2022)

Atuado pelo subconjunto de acionamento, tem-se o subconjunto de dosagem mostrado na Figura 13, sendo responsável por receber o produto da linha de produção e direcioná-lo à sacaria, este é composto por uma moega construída em aço que recebe o produto, o helicóide em seu interior, transporta o produto até a sacaria, este é dimensionado para o transporte de variados tipos de produtos a granel. Outros componentes deste subconjunto são os mancais frontal e traseiro, a base estrutural para dar rigidez ao subconjunto, e o bico interno em que o helicóide trabalha dentro.

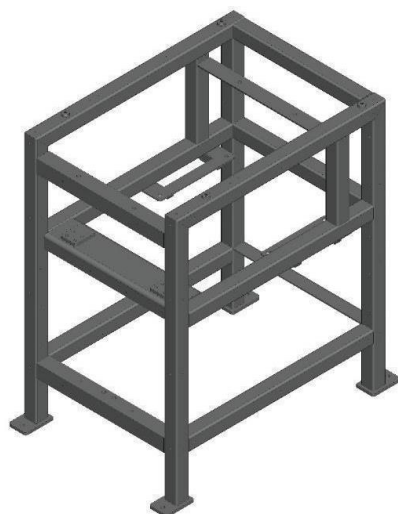
Figura 13 - Subconjunto dosagem.



Fonte: do autor (2022)

A estrutura do equipamento funciona como o esqueleto da máquina (ver Figura 14), neste subconjunto são fixados todos os demais subconjuntos, unindo-os para obter-se um conjunto final funcional. Este é composto de tubos retangulares, cantoneiras e chapas soldados e acabamento em pintura epóxi.

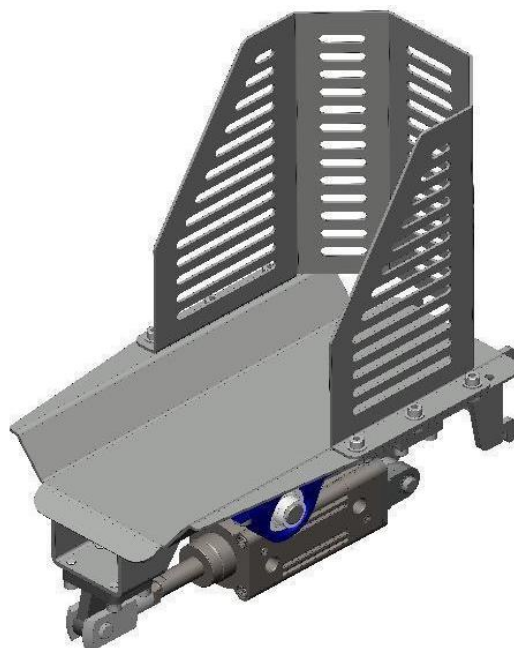
Figura 14 - Subconjunto estrutura.



Fonte: do autor (2022)

Ao término da dosagem e pesagem da sacaria, é necessário remover o saco do bico da máquina, para esta função tem-se o subconjunto expulsador, mostrado na Figura 15, sendo atuado por cilindro pneumático, onde um sistema de alavanca empurra a sacaria para frente, expulsando-a da máquina. Este subconjunto possui chapas dobradas e soldadas e pintura epóxi, também possui mancais e suportes para o cilindro pneumático padrão de mercado.

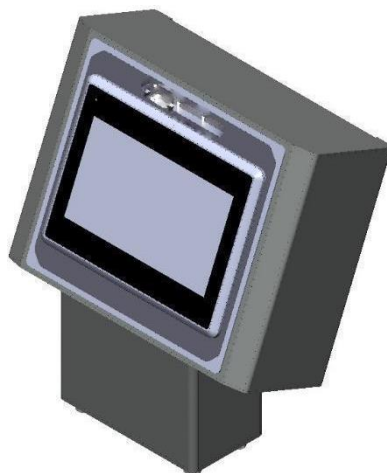
Figura 15 - Subconjunto expulsador.



Fonte: do autor (2022)

A tela de interface homem máquina (IHM) da máquina é fixada ao subconjunto IHM (ver Figura 16), este é composto por um painel construído em chapas metálicas, e suporte, ficando disposto sobre o painel elétrico do equipamento.

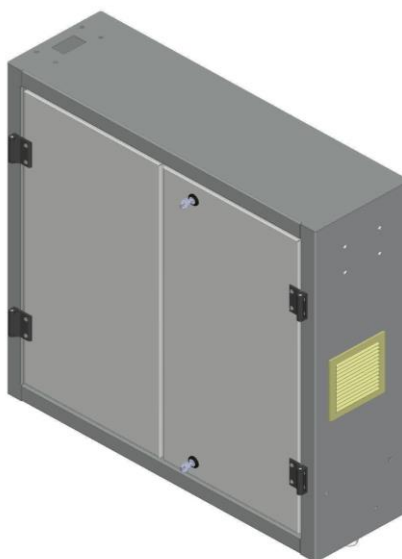
Figura 16 - Subconjunto IHM.



Fonte: do autor (2022)

Os componentes da automação, como inversor de frequência e controlador programável, ficam dispostos no painel elétrico da máquina conforme mostrado na Figura 17. O painel é fabricado com chapas metálicas dobradas e soldadas, possui portas e acessórios conforme detalhado na figura 17.

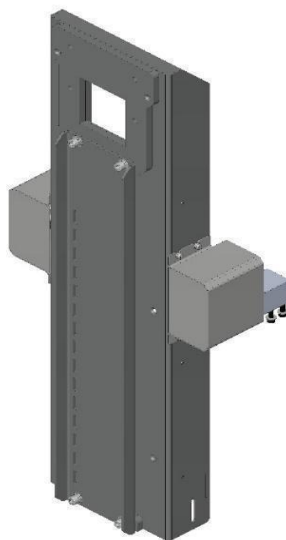
Figura 17 - Subconjunto painel elétrico.



Fonte: do autor (2022)

Em conjunto com a dosagem, a pesagem desempenha a função de pesar o produto a ser ensacado, por meio de células de carga fixadas na lateral do subconjunto. Este é composto de estrutura metálica construída com chapas, apoiados apenas sobre o par de células de carga do equipamento, conforme mostra a Figura 18.

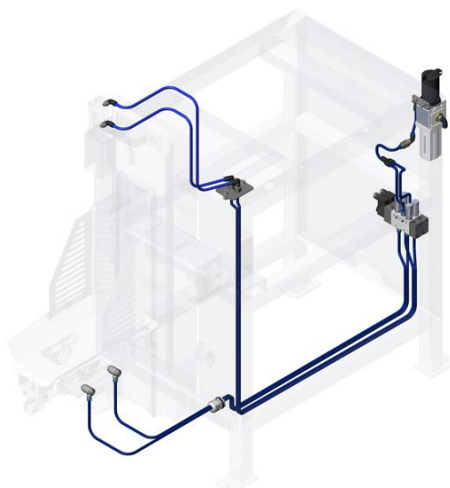
Figura 18 - Subconjunto pesagem.



Fonte: do autor (2022)

O subconjunto pneumático trata-se de todos os componentes relacionados ao sistema de ar comprimido da máquina, composto de regulador de pressão, válvulas e conexões pneumáticas, conforme pode ser verificado na Figura 19.

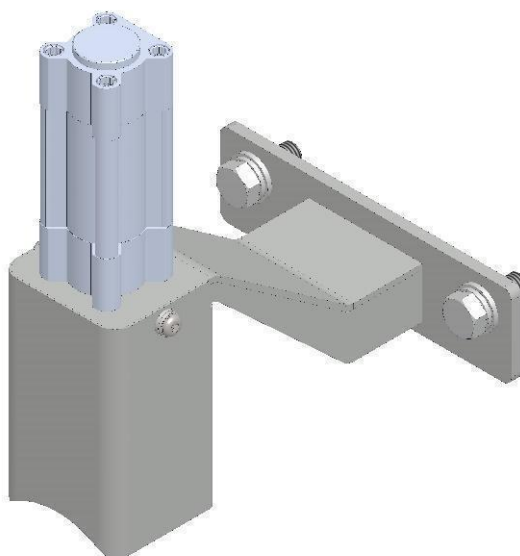
Figura 19 - Subconjunto pneumático.



Fonte: do autor (2022)

Durante o processo de injeção de produto a sacaria, é importante que a mesma esteja fixa ao bico da máquina, o subconjunto prendedor (ver Figura 20) desempenha esta função. É composto de estrutura de chapas metálicas, cilindro pneumático e batente de borracha.

Figura 20 - Subconjunto prendedor.



Fonte: do autor (2022)

4.1.2 Levantamento de custos

Para o levantamento de custos, gerou-se as listas de materiais de cada subconjunto da máquina citados na seção anterior. Assim os dados de custos foram obtidos por meio do *software* ERP (*Enterprise Resource Planning*), utilizado na empresa fabricante do equipamento. Os valores obtidos referem-se ao custo total sem o custo de montagem, pois o projeto atual considera o tempo total de montagem da máquina completa para obtenção de custo de montagem, essas informações são apresentadas na Tabela 3. Nesta pode-se observar o custo de cada subconjunto que compõe o custo total dos componentes mecânicos da máquina. Cabe ressaltar que para este trabalho, custos de componentes elétricos ficaram de fora da análise por se tratarem de outra área de estudo.

Tabela 3 - Custos dos subconjuntos mecânicos.

Subconjunto	Valor Total	Percentual
Acionamento	R\$ 2.196,15	8,97%
Bico	R\$ 312,43	1,28%
Carenagens	R\$ 793,71	3,24%
Comando	R\$ 213,94	0,87%
Dosagem	R\$ 8.548,18	34,93%
Estrutura	R\$ 4.363,26	17,83%
Expulsador	R\$ 1.380,70	5,64%
IHM	R\$ 499,28	2,04%
Painel	R\$ 1.396,09	5,71%
Pesagem	R\$ 3.646,18	14,90%
Pneumática	R\$ 770,38	3,15%
Prendedor	R\$ 351,05	1,43%
TOTAL	R\$ 24.471,35	100,00%

Fonte: do Autor (2022)

O subconjunto acionamento compõe 8,97%, do custo das partes mecânicas da ensacadeira (R\$2.196,15), neste subconjunto, destaca-se o motor como maior custo entre seus componentes. O bico da máquina tem baixa influência no custo total, correspondendo a 1,28% do custo dos componentes mecânicos

As carenagens da máquina formam um subconjunto com influência de 3,24% do custo total, trata-se de um subconjunto com elevado número de fixadores, exigindo vários processos de aperto de parafusos.

O subconjunto de dosagem é o que possui maior influência em relação ao custo da máquina, por possuir itens com vários processos de usinagem com dimensões precisas, torna-se um subconjunto com valor elevado quando comparado aos demais subconjuntos.

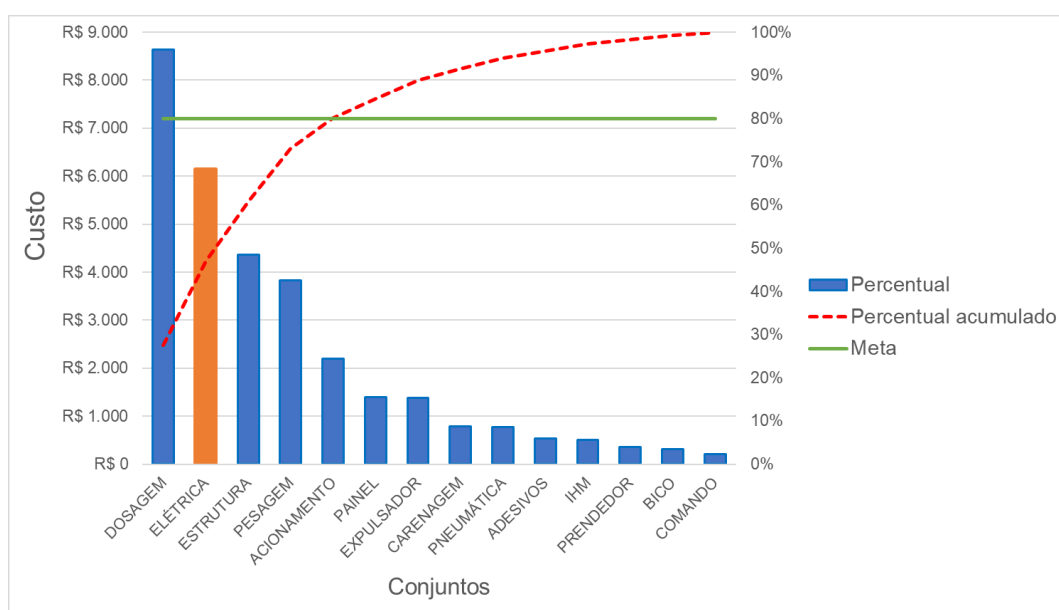
A estrutura é um subconjunto formado pela soldagem de tubos, chapas e cantoneiras. Por tratar-se de um item que possui sua fabricação terceirizada, não se tem a informação de custo de cada parte da montagem. Já o subconjunto de pesagem é um dos que representa maior porcentagem no custo da máquina, sendo cerca de 14%. As células de carga desse subconjunto representam grande parte do custo do mesmo.

Os demais subconjuntos, expulsador, IHM, kit pneumático e prendedor também compõem o restante do custo da máquina. O Apêndice B detalha o custo de cada item dos subconjuntos citados, mostrando custo e quantidade de itens utilizados.

4.1.3 Definição dos subconjuntos a serem reprojitados

De forma a definir os subconjuntos que serão reprojitados com auxílio das metodologias do DFM/A, utilizou-se o diagrama de Pareto para verificar de forma gráfica quais subconjuntos representam a maior parcela de custo total do equipamento, este pode ser visto na Figura 21 onde são relacionados os subconjuntos com o custo de fabricação, cabe ressaltar que o item “Elétrico” está com realce pois este não será considerado neste reprojeto via DFM/A.

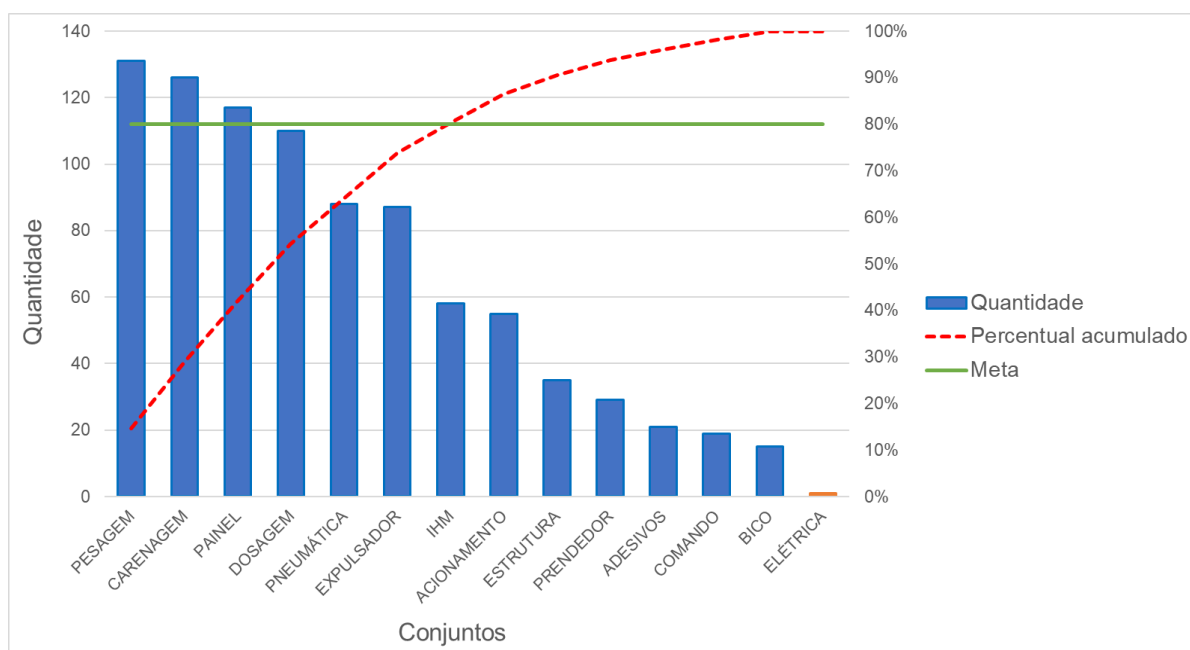
Figura 21 - Diagrama de Pareto relacionado a custo.



Fonte: do autor (2022)

Já na Figura 22 é apresentado o diagrama de Pareto relacionando os subconjuntos à quantidade de peças, neste de forma análoga ao anterior o item “elétrica” está em realce.

Figura 22 - Diagrama de Pareto relacionado a quantidade de peças.



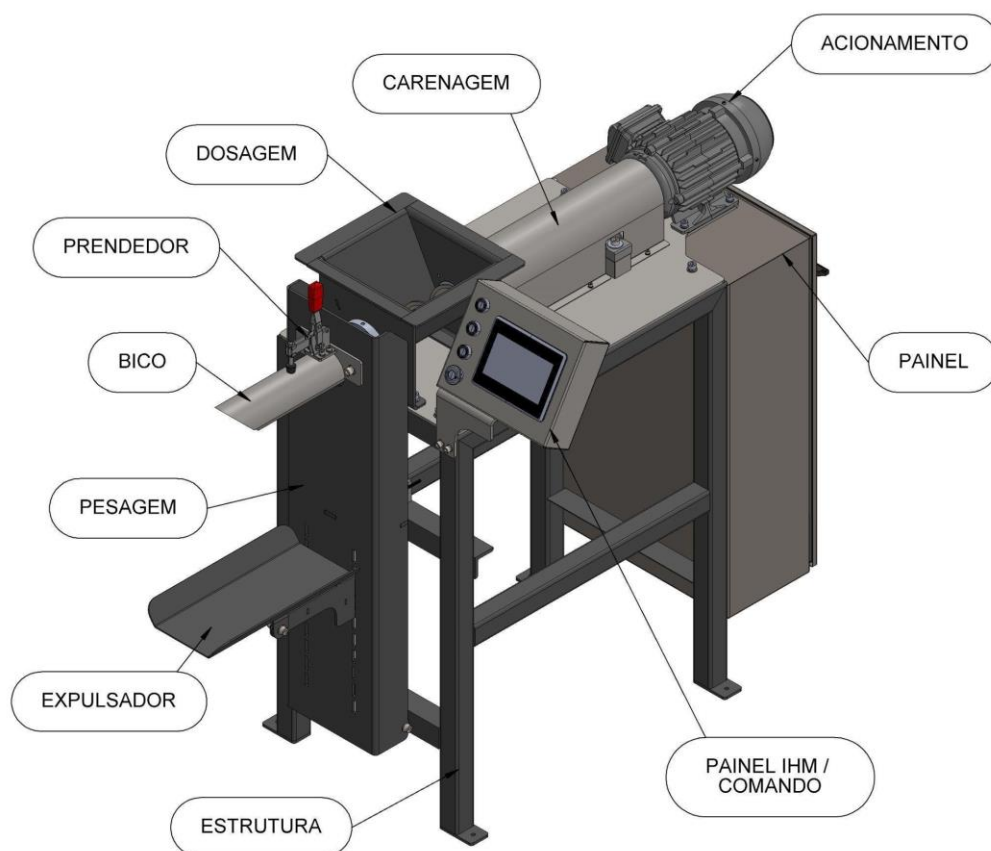
Fonte: do autor (2022)

Os diagramas apresentados nas Figuras 21 e 22, classificam os subconjuntos por ordem de custo, e por ordem de quantidade de itens, utilizando-se dos diagramas, foi possível definir o foco das alterações realizadas na máquina, priorizando subconjuntos que apresentam maior custo e maior quantidade de peças. Sendo assim os subconjuntos que receberam maior foco para alterações são: dosagem, estrutura e pesagem. Os gráficos servem como guia para o foco da pesquisa, porém não impedem alterações em subconjuntos que representam menor influência no custo final do projeto, pois alterações geradas nos principais subconjuntos, conseqüentemente alteram os demais, desta forma é importante analisar a máquina como um todo.

4.2 Alterações do Projeto - Remodelamento em Solidworks

Ao final do projeto todos os subconjuntos sofreram alterações para obter-se um resultado final satisfatório, esta seção do capítulo descreve por ordem de custo do projeto original as alterações realizadas em cada subconjunto definido anteriormente. O resultado final está ilustrado na Figura 23, onde pode-se observar os subconjuntos indicados máquina após o reprojeto.

Figura 23 - Máquina Ensacadeira Reprojetada.



Fonte: do autor (2022)

4.2.1 Dosagem

No subconjunto de dosagem, focou-se na substituição da mancalização do eixo, deixando de utilizar mancais projetados e fabricados exclusivamente para a máquina, e os substituindo por padrões de mercado. Para ambos os mancais, tem-se a necessidade de suportes para adaptá-los ao projeto.

O método construtivo da moega também sofreu melhorias, passando dos anteriores 9 componentes soldados (6 barras chatas, 2 chapas cortadas a laser e uma chapa calandrada), para 3 componentes (2 chapas cortadas e dobradas, e 1 chapa calandrada e dobrada.). Também foram removidas as usinagens da face frontal e traseira da moega, mantendo apenas nas abas inferiores.

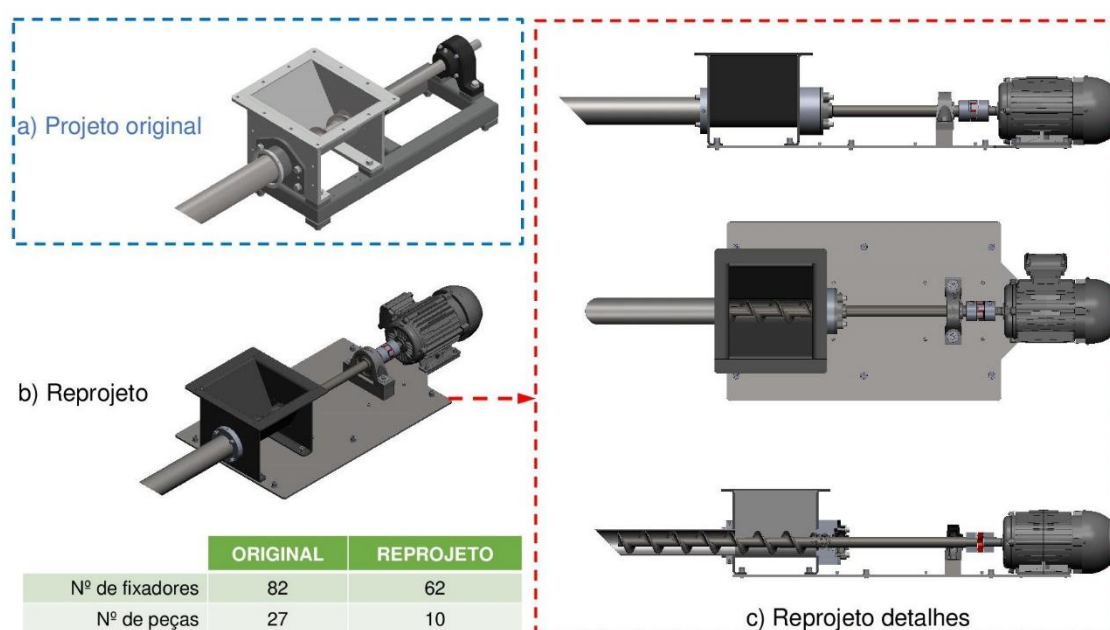
O bico de dosagem interno sofreu alterações em sua base, deixando de ser composto por chapa e bucha, passando a ser construído apenas com o tubo e a bucha.

O quadro que realizava função estrutural do sistema de dosagem foi substituído

por uma chapa inteiriça de aço carbono, com espessura de 6,35mm, desta forma eliminando diversos processos de montagem por soldagem e usinagem após soldagem do componente.

Essas alterações resultaram na redução da quantidade de componentes deste projeto, passando de 27 peças para 10 peças. A quantidade de elementos de fixação também foi reduzida de 82 para 62 itens. A Figura 24 apresenta um comparativo do projeto base com o subconjunto reprojeto, onde pode-se observar mais detalhes.

Figura 24 - Comparação entre projetos do subconjunto dosagem



Fonte: do autor (2022)

4.2.2 Estrutura

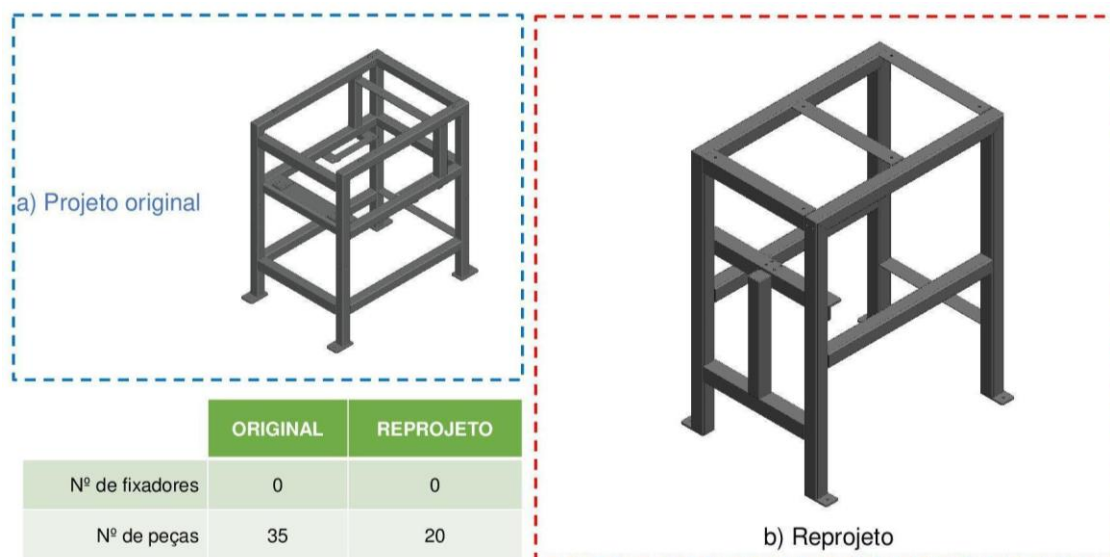
Devido às alterações nos demais subconjuntos da máquina, a estrutura foi o último componente a ser projetado, apesar de aparecer em segundo por conta da ordem de custos do projeto original. A estrutura sofreu diversas alterações, diretamente relacionadas às melhorias nos demais subconjuntos. Foram removidas as chapas que compunham o subconjunto, exceto as que exercem a função de suporte (pé) da máquina, passando de 35 itens para 18 componentes.

Os tubos quadrados utilizados mantiveram as dimensões de 50x50 com espessura de 3mm, e as cantoneiras de abas iguais utilizadas são de 50,8mm com espessura de 4,73mm, exceto a utilizada na fixação da célula de carga, sendo de

50,8mm com espessura de 7,94mm.

Na Figura 25 tem-se a comparação entre o projeto base e o reprojeto, os valores na tabela da figura referente aos elementos de fixação aparecem zerados pois o mesmo possui apenas montagem por meio de soldagem e não são parafusadas.

Figura 25 - Comparação entre projetos do subconjunto estrutura.



Fonte: do autor (2022)

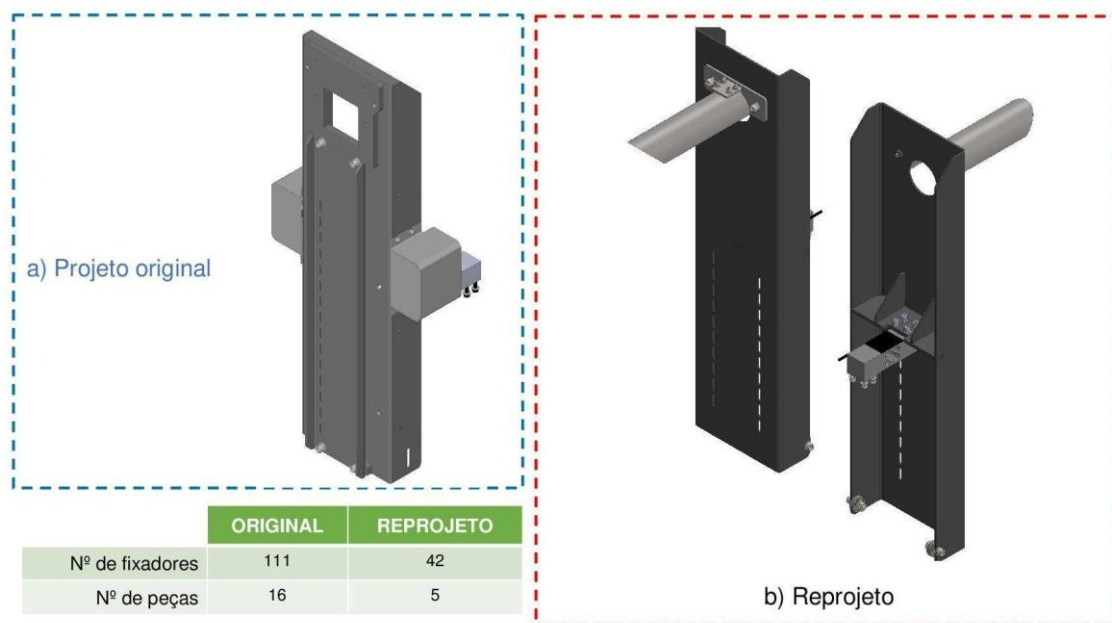
4.2.3 Pesagem

Para o subconjunto de pesagem buscou-se manter semelhança com o projeto original, porém diversas simplificações foram realizadas no corpo principal do subconjunto. A estrutura de pesagem deixou de ter a chapa de suporte para o bico de dosagem soldada. Outra alteração são os recortes para fixação do expulsador produzidos na chapa principal, eliminando da montagem a chapa parafusada que provia suporte ao expulsador de sacarias.

Neste projeto deixou-se de utilizar a célula de carga em par, alterando para o uso de apenas uma centralizada ao subconjunto, com fixação rígida e não mais flexível, ao utilizar apenas uma célula de carga, torna-se possível a eliminação dos suportes flexíveis. Outro ponto simplificado foi a substituição do subconjunto de rolamentos com suportes usinados da parte inferior da pesagem, por um par de rolamentos fixados apenas com parafusos diretamente na chapa de pesagem, sem necessidade de eixos e suportes usinados.

Com o reprojeto, foi possível reduzir a quantidade de fixadores de 111 para 42 itens, e o número de componentes foi reduzido de 16 para 5, conforme descrito na Figura 26.

Figura 26 - Comparação entre projetos do subconjunto dosagem pesagem.



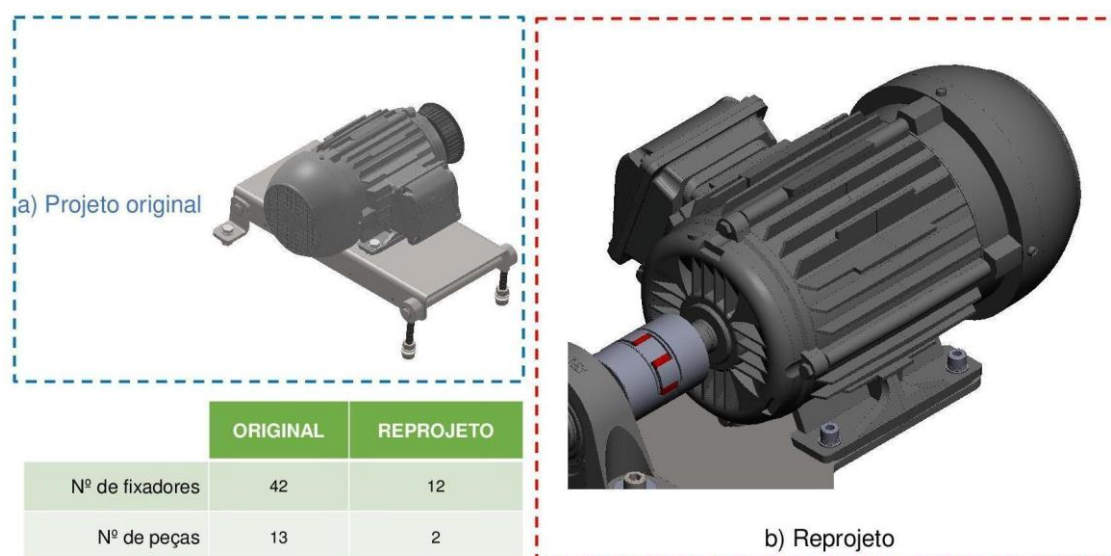
Fonte: do autor (2022)

4.2.4 Acionamento

Para o acionamento, optou-se por não utilizar acionamento por meio de correia sincronizada e polias, desta forma, podendo eliminar o subconjunto que faz a função de suporte do motor e esticador da correia, bem como eliminar várias etapas de montagem. No lugar da correia, utilizou acoplamento flexível, posicionando o motor na parte traseira da máquina, acoplando diretamente o motor ao eixo da rosca dosadora. Desta forma, o sistema de acionamento após as alterações, deixou de ser um subconjunto separado e passou a integrar o subconjunto de dosagem.

Conforme mostrado na Figura 27, o projeto deste subconjunto passou de 13 itens para 2, e a quantidade de fixações foi reduzida de 42 elementos para 12.

Figura 27 - Comparação entre projetos do subconjunto acionamento.

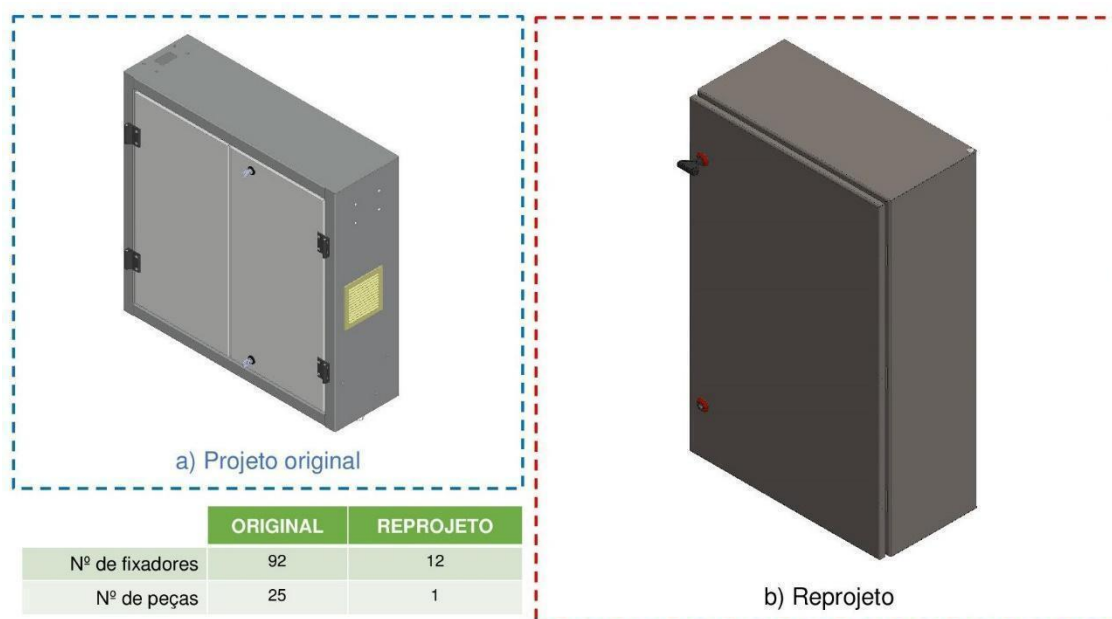


Fonte: do autor (2022)

4.2.5 Painel Elétrico

O painel elétrico da máquina original, consiste em um projeto de painel especial para esta aplicação, de forma a reduzir custos e diminuir os itens para administrar no projeto, optou-se pela utilização de um modelo de painel de mercado, comprado totalmente pronto, não sendo mais necessário projeto para o mesmo e gestão das diversas partes do painel original pelo almoxarifado. Com esta alteração considera-se o novo painel como apenas um item, não segregando as suas partes, como porta, fechos e dobradiças. A Figura 28 mostra as diferenças aplicadas neste reprojeto.

Figura 28 - Comparação entre projetos do subconjunto painel.



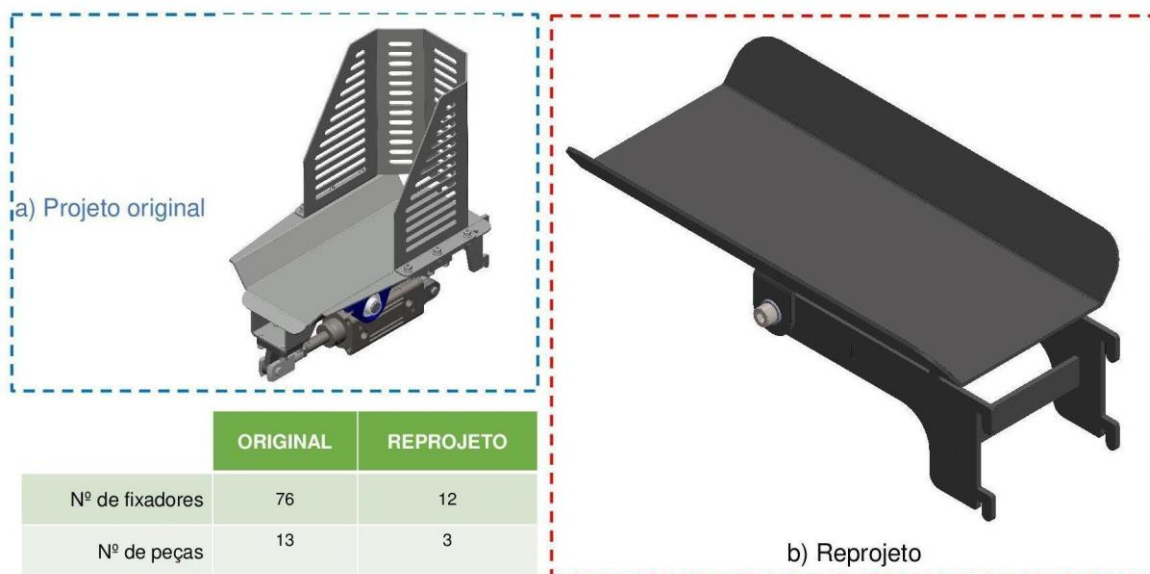
Fonte: do autor (2022)

4.2.6 Expulsador

Neste subconjunto, o acionamento pneumático foi eliminado, deixando o subconjunto livre para articular quando a sacaria é liberada pelo prendedor do bico. Com esta alteração, chegou-se a um mecanismo simples e com baixo número de partes, passando de 13 para 3 itens, e fixações, passando de 76 para 12 componentes, mantendo dimensões semelhantes às do projeto original.

A lógica para fixação e ajuste desse subconjunto na máquina se manteve, utilizando alças que se encaixam ao subconjunto pesagem, possibilitando ajuste para o tamanho de sacaria a ser utilizado. A Figura 29 ilustra as diferenças entre os projetos.

Figura 29 - Comparação entre projetos do subconjunto expulsador.

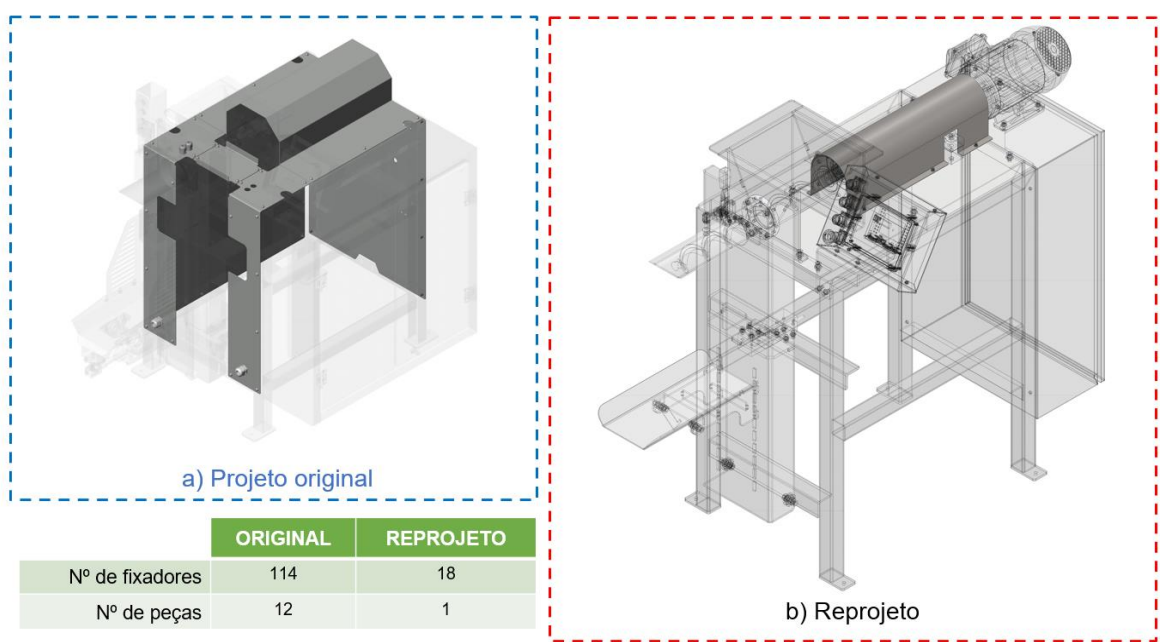


Fonte: do autor (2022)

4.2.7 Carenagem

No projeto original da máquina, as chapas de carenagem possuem função de dar segurança a operação da máquina, e também função estética. Para este projeto, como o foco principal está na redução de custo, optou-se por utilizar apenas carenagens com função de segurança, com isso, foi possível reduzir para apenas uma peça com esta função, isolando o eixo da máquina. Com as alterações também foi possível reduzir a quantidade de fixações, conforme descrito na Figura 30.

Figura 30 - Comparação entre projetos do subconjunto carenagem.



Fonte: do autor (2022)

4.2.8 Pneumática

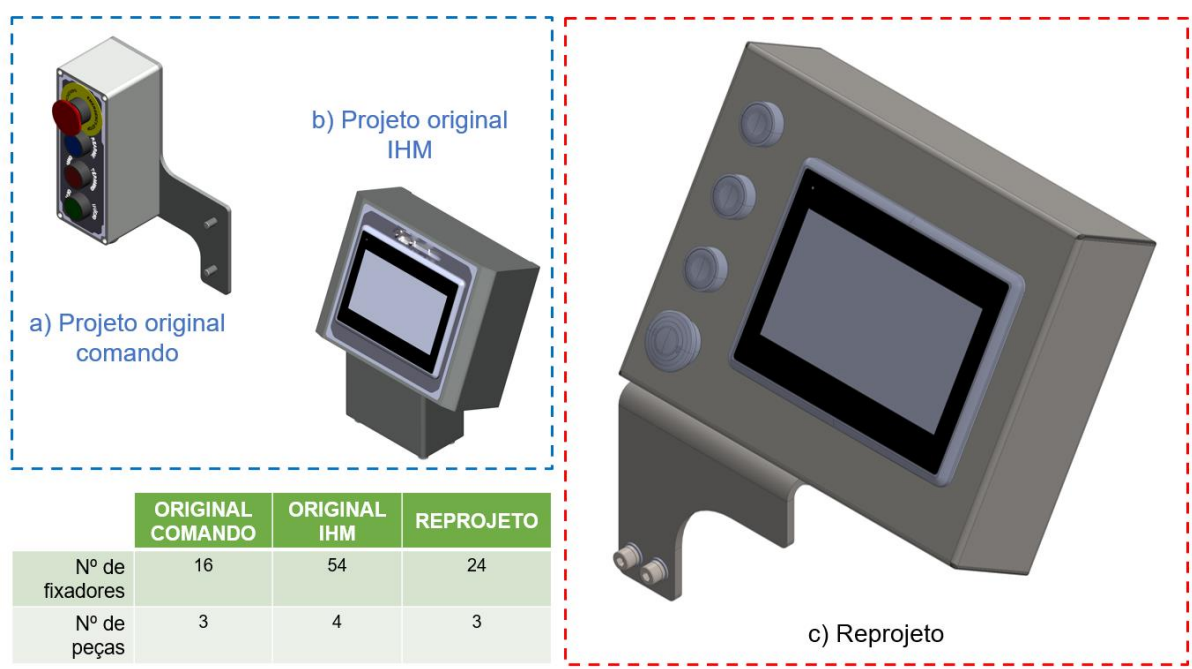
Com as simplificações do subconjunto prendedor e expulsador, eliminando todos os acionamentos pneumáticos, este subconjunto deixa de integrar o projeto, reduzindo custos com válvulas e conexões, e também com componentes elétricos necessários para atuar e controlar o sistema pneumático.

4.2.9 Painel IHM e Comando

Com a remoção do painel da face lateral na máquina, tornou necessário remodelar o painel IHM. Sua geometria está diretamente relacionada ao modelo de tela utilizado, pois deve atender requisitos mínimos de espaço para passagem de cabos elétricos. Tomou-se a decisão de unir o subconjunto painel IHM ao subconjunto comando, possibilitando o uso de apenas um componente para estas duas funções de operação da máquina, bem como a centralização da interação do operador com o equipamento.

As alterações resultaram em um projeto com 24 elementos de fixação e 3 componentes, número menores que os projetos originais do acionamento e painel IHM, conforme descrito na Figura 31.

Figura 31 - Comparação entre projetos do subconjunto acionamento / painel IHM.

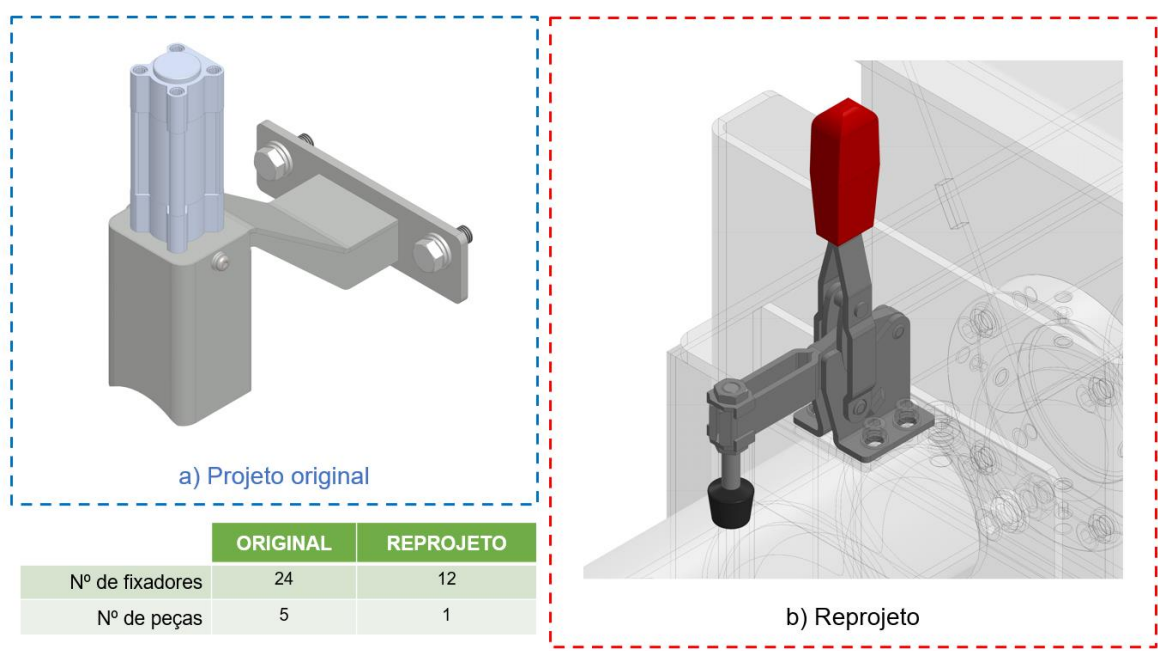


Fonte: do autor (2022)

4.2.10 Prendedor

Com o objetivo de eliminar os acionamentos eletropneumáticos da máquina, o subconjunto bico original foi substituído por um grampo de aperto rápido de modelo padrão de mercado com acionamento manual, eliminando a necessidade de controle de projeto de diversos itens, para apenas um item comprado pronto e acoplado à máquina. Na Figura 32 é possível observar detalhes deste subconjunto, bem como a redução do número de partes.

Figura 32 - Comparação entre projetos do subconjunto prendedor.

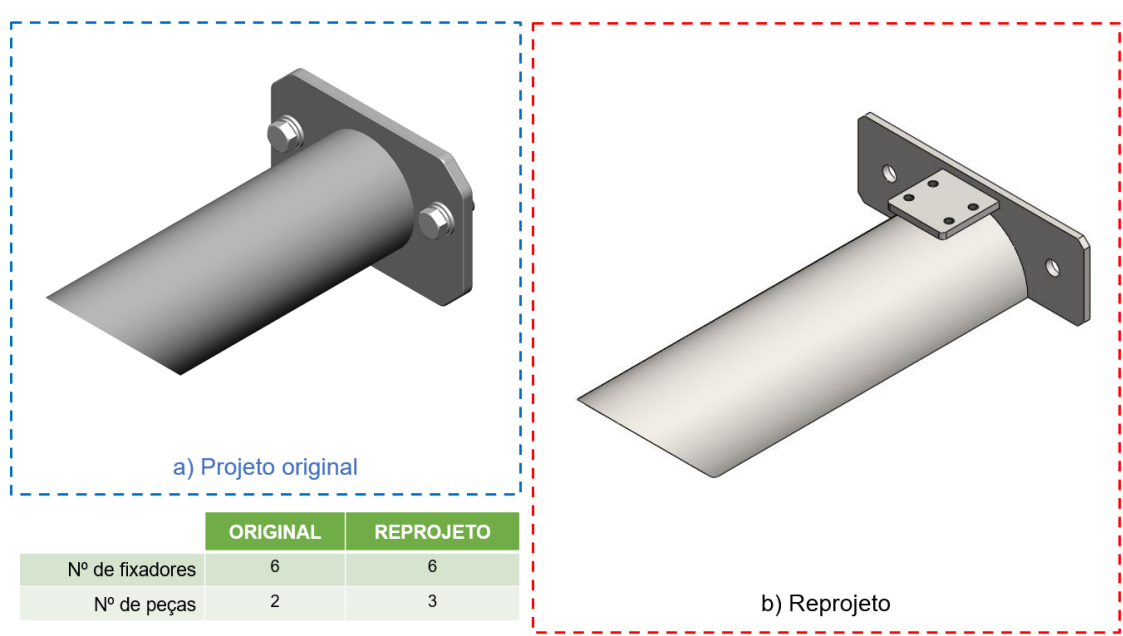


Fonte: do autor (2022)

4.2.11 Bico

O subconjunto bico sofreu alterações em sua forma construtiva, deixando de utilizar um tubo soldado em uma chapa de aço, para utilizar chapa calandra soldada a uma chapa base. Também foi adicionada uma terceira chapa que dá suporte ao grampo prendedor de sacaria. Este subconjunto apresentou aumento no número de partes, para poder dar suporte ao grampo prendedor, passando de 2 para 3 peças, a quantidade elementos de fixação não teve alteração, conforme mostra a Figura 33.

Figura 33 - Comparação entre projetos do subconjunto bico.



Fonte: do autor (2022)

4.3 Orçamento de custos do novo projeto

Para realização dos orçamentos e obtenção dos custos do novo projeto utilizou-se a mesma rede de fornecedores da empresa fabricante da ensacadeira modificada neste trabalho, e também se utilizou os setores de usinagem e engenharia de processos para determinar o custo das peças que possuem manufatura interna.

A Tabela 4 descreve os custos de cada subconjunto do novo projeto, nesta não constam os subconjuntos acionamento e pneumática, pois o subconjunto acionamento foi integrado ao conjunto painel IHM, e o subconjunto de itens pneumáticos foi removido do projeto. O custo de cada item dos subconjuntos está descrito no Apêndice C.

Tabela 4 - Custos dos subconjuntos mecânicos do reprojeto.

Subconjunto	Valor Total	Percentual
Acionamento	R\$ 1.343,33	11,47%
Bico	R\$ 264,26	2,26%
Carenagens	R\$ 127,13	1,09%
Dosagem	R\$ 5.368,70	45,83%
Estrutura	R\$ 1.537,56	13,12%
Expulsador	R\$ 165,83	1,42%
IHM / Comando	R\$ 330,34	2,82%
Painel	R\$ 925,00	7,90%
Pesagem	R\$ 1.450,48	12,38%
Prendedor	R\$ 202,41	1,73%
Total	R\$ 11.715,04	100,00%

Fonte: do autor (2022).

4.4 Análise do reprojeto

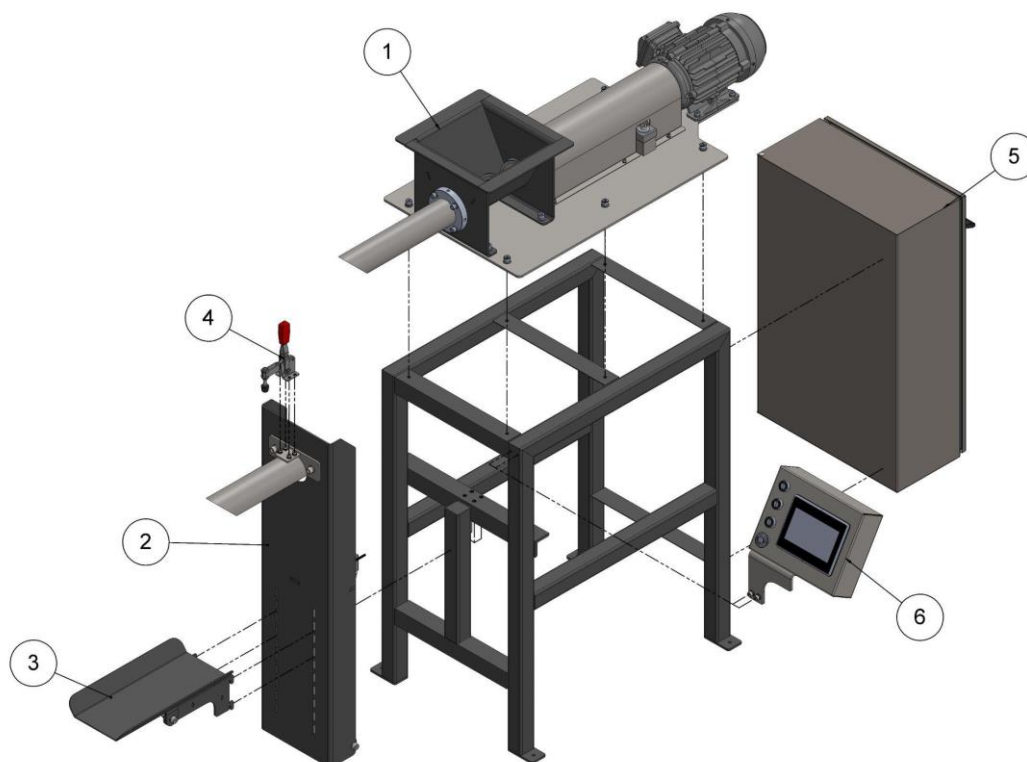
4.4.1 Avaliação do processo de montagem

Esta seção detalha as etapas de montagem dos subconjuntos da máquina, utilizando-se de vistas explodidas de cada subconjunto. A Figura 34 exibe a vista explodida de toda a montagem da ensacadeira após o reprojeto, os balões indicam a sequência de montagem dos subconjuntos à estrutura:

1. Dosagem;
2. Pesagem;
3. Expulsador;
4. Prendedor;
5. Painel IHM;
6. Painel elétrico

Lembrando que é possível realizar a montagem de todos os subconjuntos separadamente, e acoplá-los à estrutura da máquina, sem interdependência entre eles para a montagem, uma vez que o subconjunto estrutural atua como peça base de montagem.

Figura 34 - Vista explodida montagem completa da ensacadeira após reprojeto.

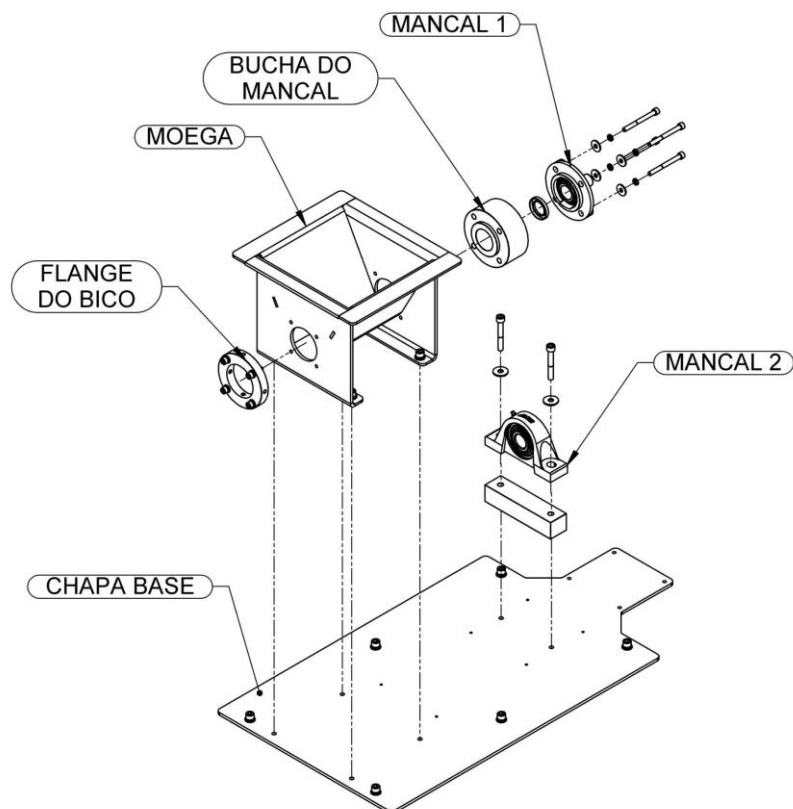


Fonte: do autor (2022)

O primeiro subconjunto que pode ser acoplado à estrutura é o de dosagem, que após montagem isolada, o mesmo é fixado por meio de seis parafusos de cabeça sextavado interno à estrutura da máquina. Outra opção é montar somente a chapa de base da dosagem na estrutura, e utilizar a própria estrutura da máquina como bancada de montagem para os demais componentes da dosagem, desta forma, evita-se a necessidade de pelo menos dois montadores para transportar o subconjunto que ultrapassa 50Kg, montado até a estrutura.

A Figura 35 detalha a montagem da moega com a mancalização do subconjunto, onde pode-se observar os itens de fixação e sequencia de inserção dos componentes. Cabe ressaltar que é possível realizar esta montagem de forma independente do eixo central da montagem, e do motor de acionamento, tornando a montagem modular.

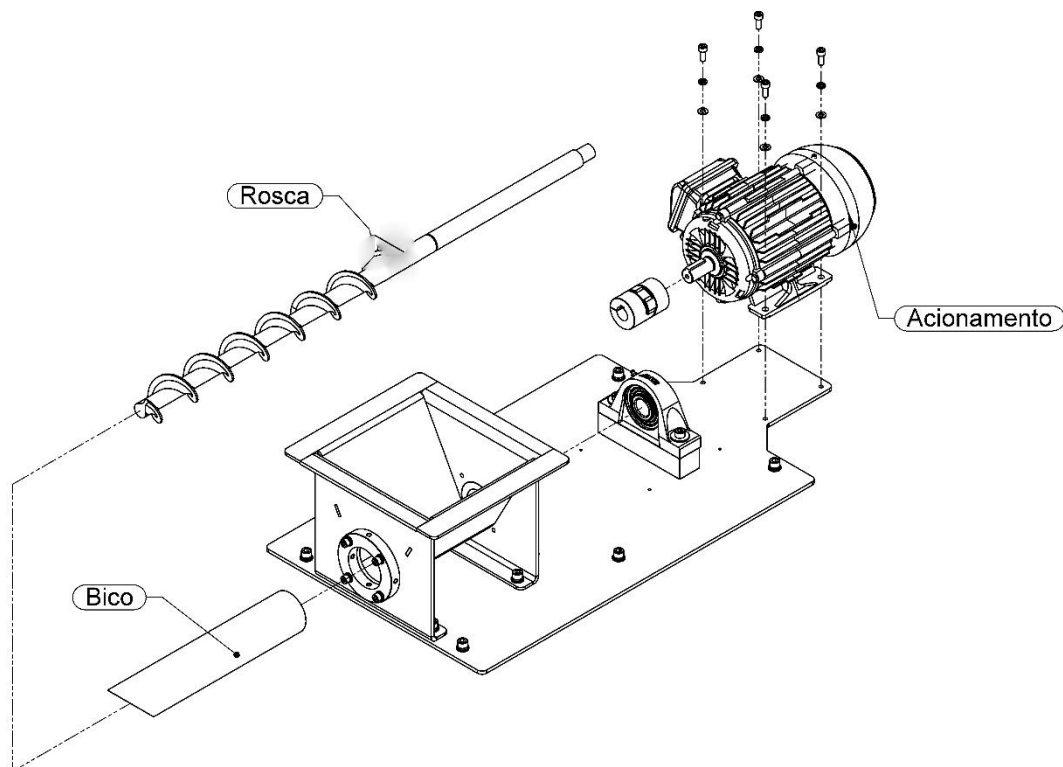
Figura 35 - Vista explodida montagem do subconjunto dosagem.



Fonte: do autor (2022)

Com a mancalização montada, a montagem da rosca dosadora, do acionamento e do bico de transporte ficam isoladas de forma independente um do outro, e dependentes apenas da montagem da etapa anterior, com isso, se facilita os processos de futuras manutenções e substituição de peças. A Figura 36 detalha a montagem das demais peças ao subconjunto dosagem.

Figura 36 - Vista explodida montagem componentes do subconjunto dosagem.

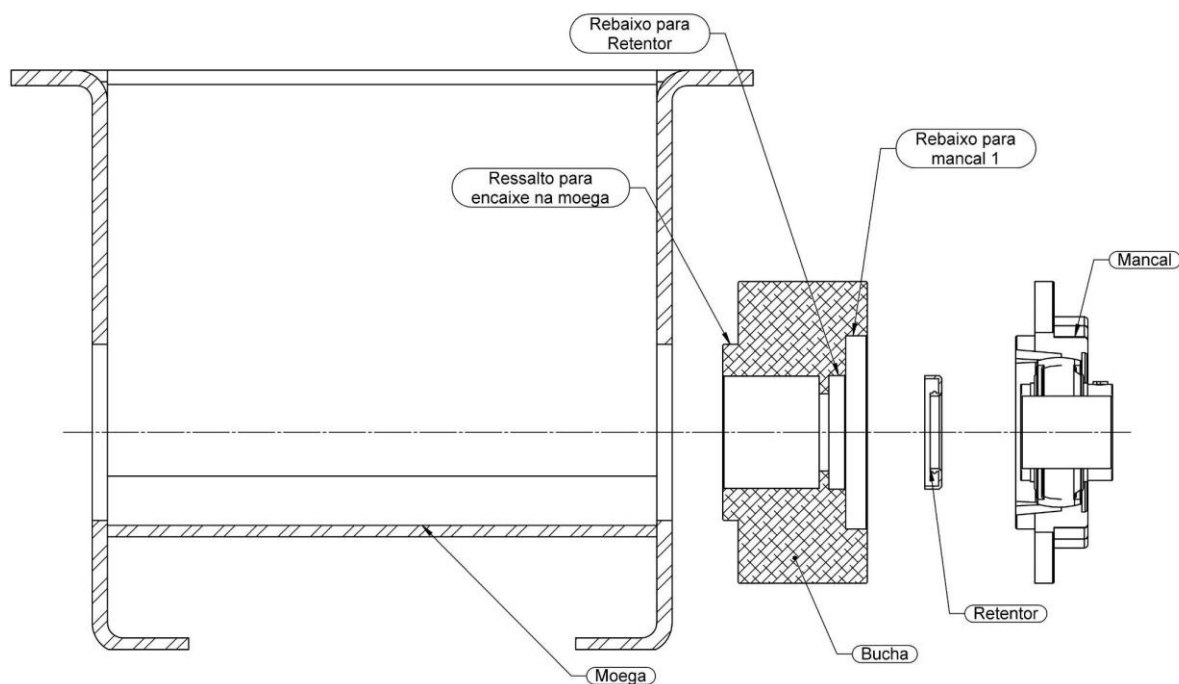


Fonte: do autor (2022)

Buscou-se projetar os componentes de forma simétrica, para eliminar erros referentes à posição de montagem, esta é uma das diretrizes básicas do DFA. Quanto ao projeto da chapa base da dosagem, destaca-se a simetria em relação ao plano direito, podendo à estrutura ser montada em qualquer posição de contato das faces com os tubos de suporte. A moega também é construída de forma simétrica, não possuindo diferenças de face frontal e traseira, bem como o posicionamento do mancal 2, que pode ser montado em qualquer posição (ver Figura 35).

Para a montagem da bucha e mancal 1 à moega, foram projetados encaixes, que evitam a troca de posição no processo de montagem, conforme mostra a Figura 37, assim evita-se o posicionamento incorreto da bucha e mancal.

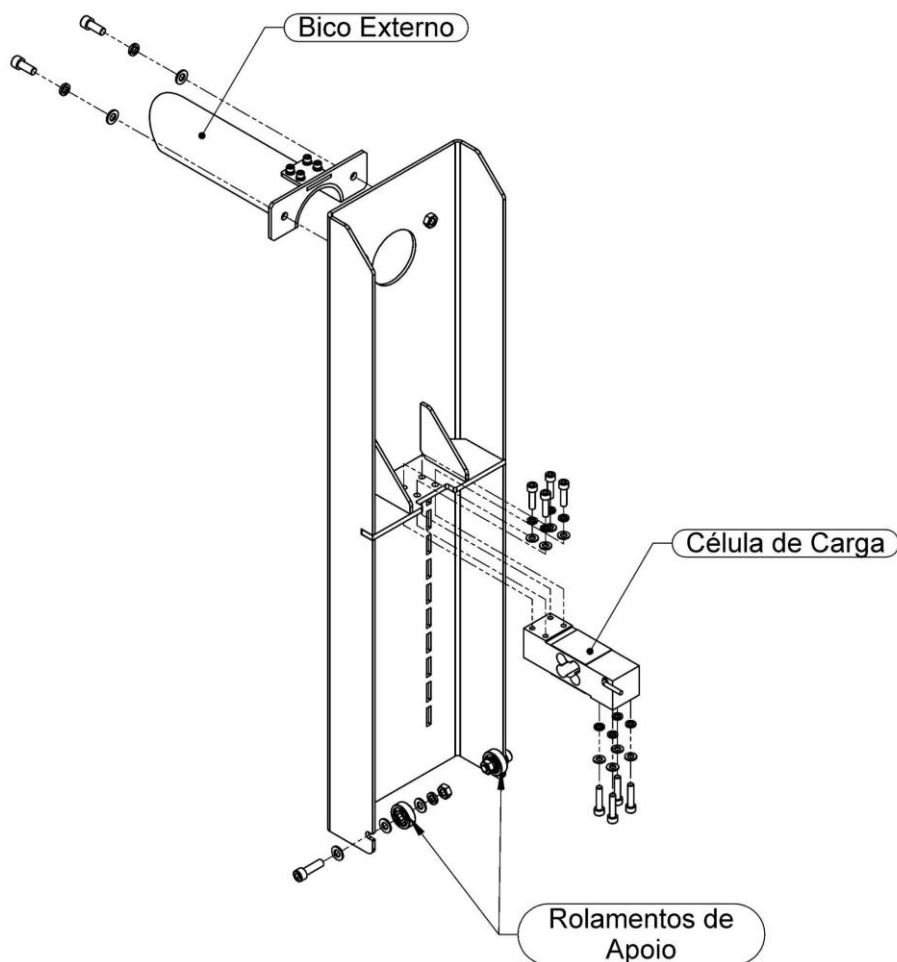
Figura 37 - Vista explodida em corte do subconjunto dosagem.



Fonte: do autor (2022)

Após montagem do subconjunto dosagem à estrutura, pode-se montar o subconjunto de pesagem à mesma, este subconjunto deve ser montado de forma separada e acoplado ao restante da montagem. Este é acoplado por meio de quatro parafusos sextavado interno à cantoneira central da estrutura, que fica em contato direto com a célula de carga, conforme mostra a Figura 38.

Figura 38 - Vista explodida do subconjunto pesagem.

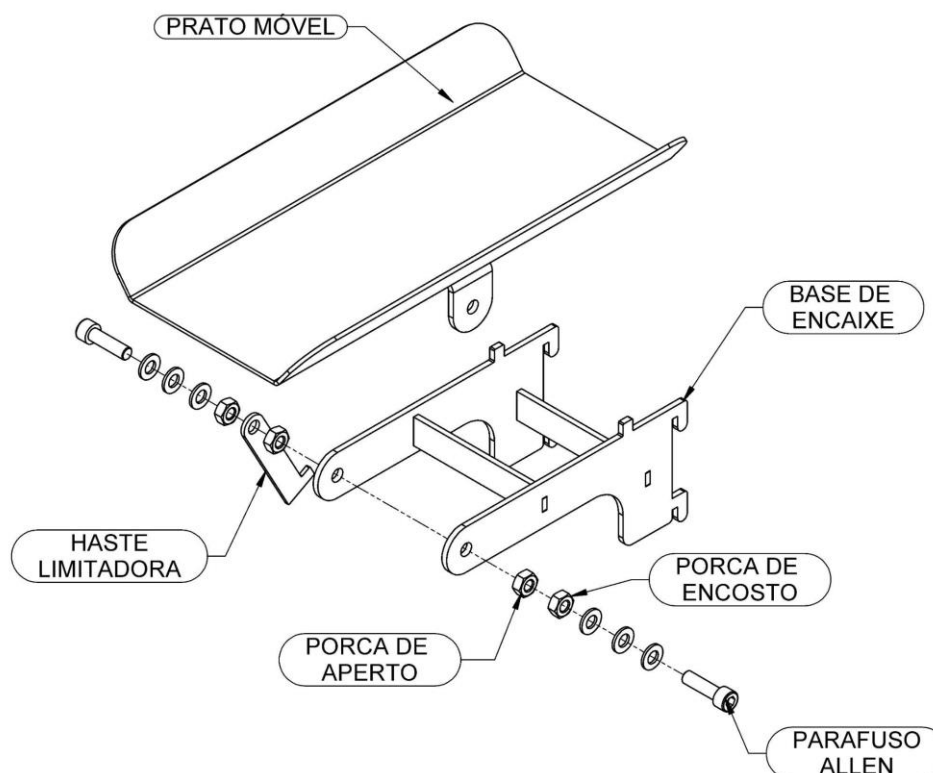


Fonte: do autor (2022)

Conforme detalhado na Figura 38, são poucas as etapas de montagem deste subconjunto quando comparado ao subconjunto de dosagem, e não se tem uma ordem específica para a montagem de suas partes. São elas, a fixação da célula de carga ao corpo da pesagem, fixação do bico externo e fixação do par de rolamentos suporte do subconjunto.

O próximo subconjunto que deve ser montado à máquina, é o dispositivo expulsador mostrado na Figura 39, sua montagem é totalmente depende da montagem do subconjunto de pesagem à estrutura, pois o mesmo é fixado por meio de encaixe nas ranhuras do corpo da pesagem, e não necessita de aperto de parafusos, e o encaixe acontece de forma folgada, do tipo H11/h11 com pequena folga e grandes tolerâncias, sem necessidade de uso de força ou ferramentas.

Figura 39 - Vista explodida expulsador.



Fonte: do autor (2022)

A montagem do subconjunto expulsador detalhada na Figura 39, possui apenas dois pontos parafusados, o subconjunto é de simples montagem, porém é necessário atenção quanto ao aperto da primeira porca ao parafuso, onde é necessário folga para que o subconjunto possa articular. Outra montagem que exige regulagem é a da haste de travamento, que deve ser ajustada de forma a limitar a articulação do prato móvel do subconjunto.

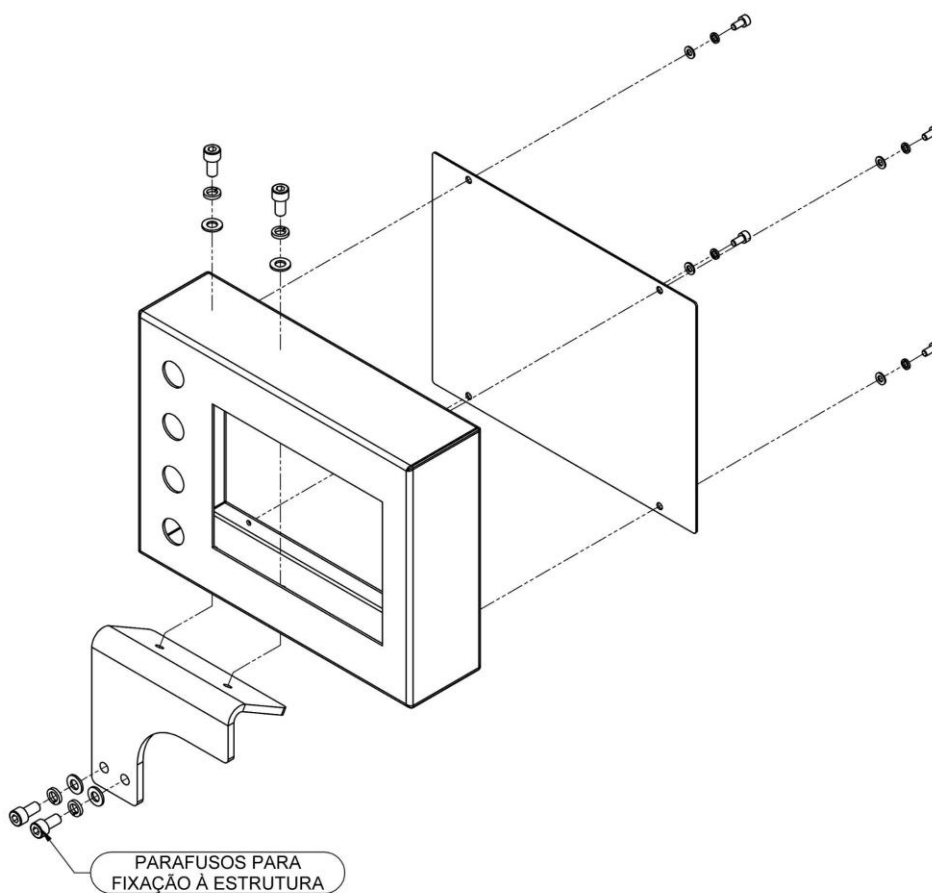
As linhas de conexão vistas na Figura 34, anteriormente, entre o subconjunto 2 e 3 indicam a posição de montagem. Os encaixes foram projetados de forma que impossibilitam a montagem em uma posição errada, porém com possibilidade de ajuste de altura. Na sequência, os subconjuntos; prendedor; painel IHM; e painel elétrico, são montados à estrutura, conforme Figura 34. O prendedor é fixado ao bico externo da ensacadeira, por meio de 4 parafuso sextavado interno, na posição exibida na Figura 34.

Diferente do projeto original da ensacadeira, em que o painel é fixado na parte lateral da máquina, podendo variar entre direita e esquerda, o painel elétrico proposto fica posicionado no reprojeto, na parte traseira da máquina, assim, pode-se utilizar

apenas um modelo de painel, eliminando a variação direita e esquerda do painel original.

A montagem do painel IHM é detalhada na Figura 40, em que exhibe apenas a montagem dos itens mecânicos, pois a montagem de componentes elétricos não é abordada neste trabalho. Sua fixação à estrutura é por meio de dois parafusos sextavados internos, nos furos roscados disponíveis no lado frontal direito da estrutura.

Figura 40 - Vista explodida painel IHM.



Fonte: do autor (2022)

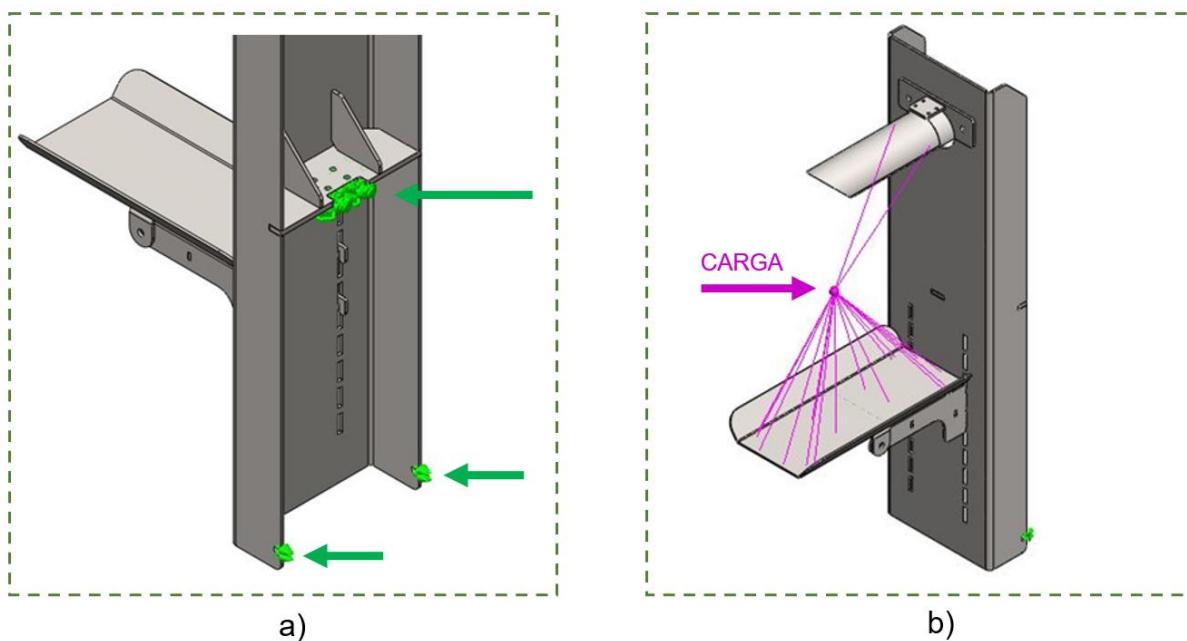
4.4.2 Validação dos resultados com *Solidworks Simulation*

Com as alterações em diversos componentes estruturais do equipamento, surgiu a necessidade de validar a resistência a esforços mecânicos que a máquina será submetida durante a operação. Nesta etapa foi utilizado o *software Solidworks Simulation*[®], onde foram analisados os principais pontos que sofrem esforços, sendo

eles o subconjunto de pesagem, chapa base da dosagem e estrutura da máquina.

Para a simulação no subconjunto de pesagem, isolou-se o mesmo do restante da máquina, juntamente com o subconjunto expulsador e bico, para facilitar os ensaios no software. A Figura 41-a mostra os pontos de fixação que foram utilizados durante a simulação, indicados em verde na figura, estes pontos representam a fixação da célula de carga, e a fixação dos rolamentos de apoio do subconjunto de pesagem. A carga considerada para esta simulação, foi a massa de 150Kg, aplicada no centro de massa da sacaria, e considerando o contato na parte superior do bico e do expulsador, conforme detalhado na Figura 41-b.

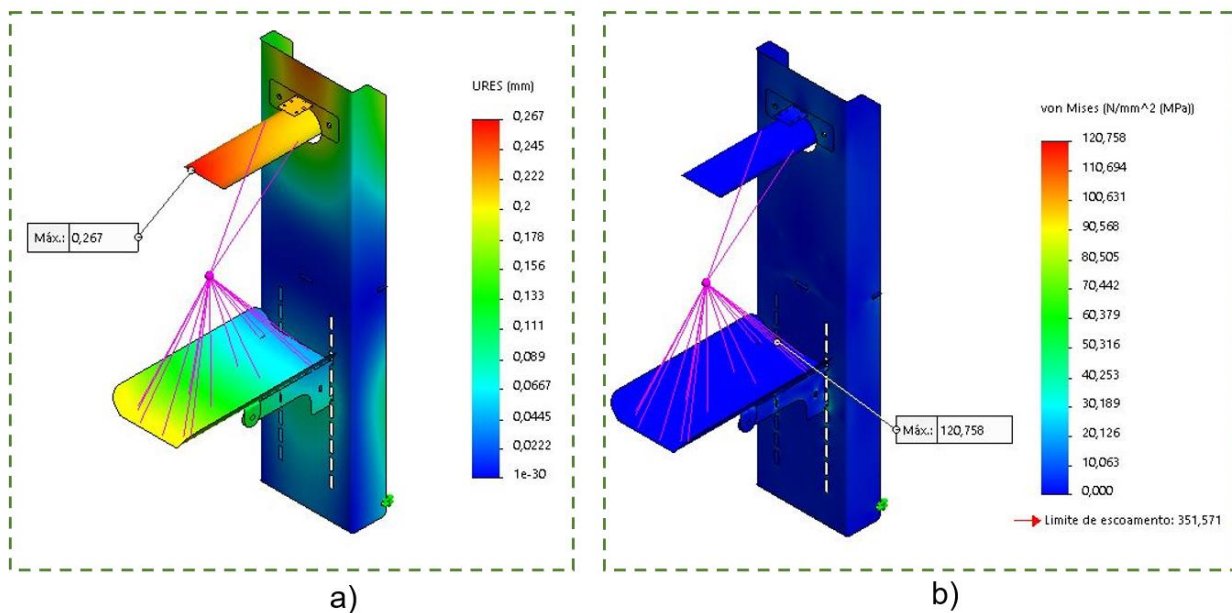
Figura 41 - Preparação da simulação – a) Pontos de fixações; b) ponto de aplicação da carga.



Fonte: do autor (2022)

Na Figura 42 são apresentados os resultados da simulação. Nesta pode-se observar que o valor de deslocamento máximo de 0,267mm foi obtido na ponta do bico (ver Figura 42 - a), e a tensão máxima obtida foi de 120,758MPa na parte traseira do corpo do expulsador (ver Figura 42 - b), sendo um valor abaixo do limite de escoamento para o AÇO 1020.

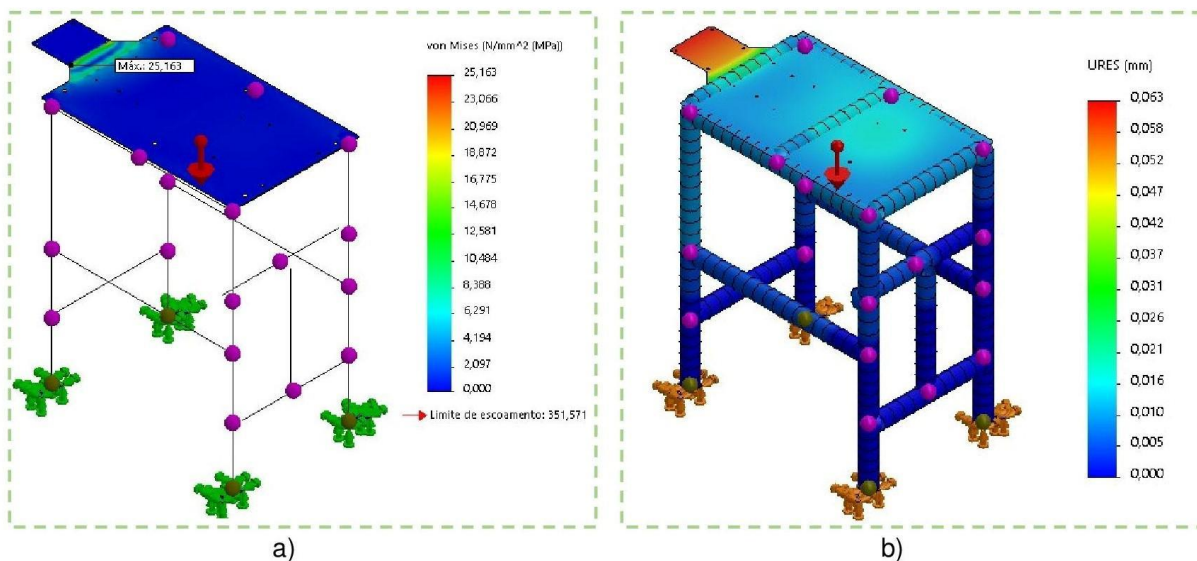
Figura 42 - Resultado da simulação – a) Deslocamento máximo subconjunto pesagem; b) tensão máxima do subconjunto de pesagem.



Fonte: do autor (2022)

Para a simulação da chapa base do subconjunto dosagem, o principal ponto de carga considerado foi o ponto em que o motor é fixado, o peso aproximado dele é de 30Kg, segundo dados obtidos do site do fabricante, com isto, a carga considerada no local foi de 60Kg. A chapa da dosagem é construída em aço 1020, com espessura de 6,35mm. Os resultados de deslocamento e tensão, são exibidos na Figura 43-a e 43-b respectivamente, nesta pode-se observar que o valor máximo do deslocamento da base foi de 0,063 mm e a tensão máxima na chapa base foi de 25,163 MPa.

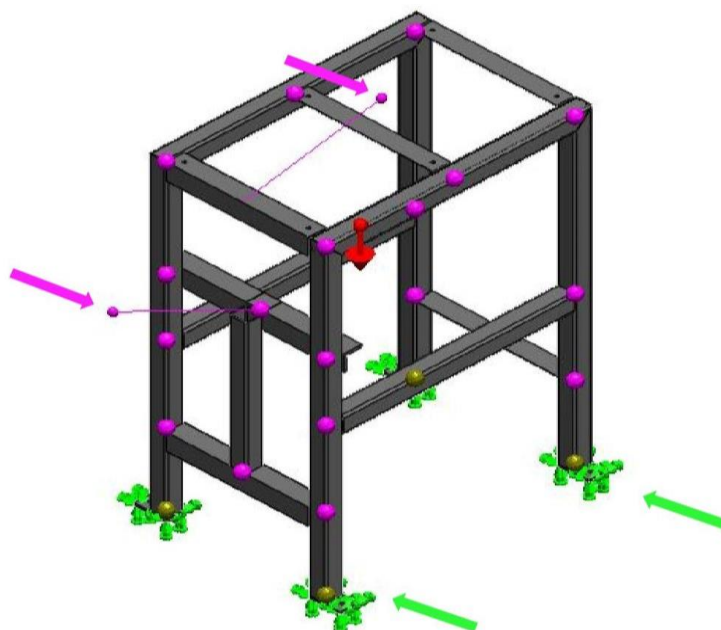
Figura 43 - Resultado da simulação – a) Deslocamento máximo chapa dosagem; b) tensão máxima chapa dosagem.



Fonte: do autor (2022)

A Figura 44 mostra os pontos de fixação que foram utilizados durante a simulação da estrutura, indicados pelas setas verde na figura, estes pontos representam estrutura fixada ao piso. As cargas consideradas para esta simulação, foram a massa remota de 150Kg, aplicada no centro de massa do que seria o subconjunto pesagem, com bico, expulsador e sacaria, esta carga é aplicada a cantoneira central da estrutura, e a outra carga considerada foi a massa remota de 50 Kg, distribuída na parte superior da estrutura, representando o subconjunto dosagem. As cargas são indicadas pelas setas rosas na Figura 44.

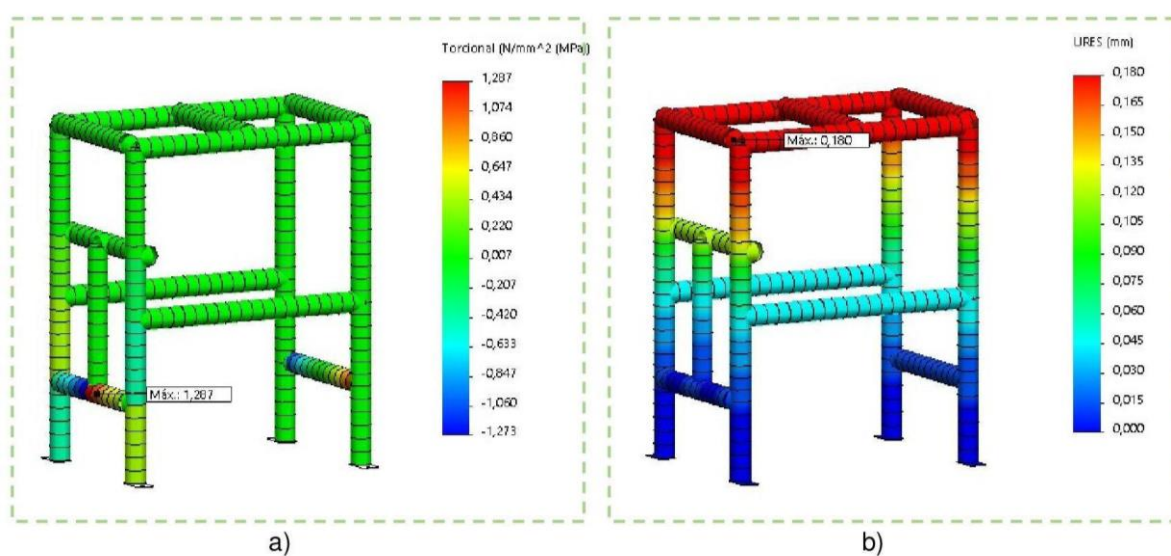
Figura 44 - Preparação simulação da estrutura.



Fonte: do autor (2022)

Os resultados de tensão torcional e deformação são exibidos na Figura 45-a e 45-b respectivamente, o maior valor de tensão torcional do subconjunto foi de 1,2MPa, e o ponto que apresentou maior deslocamento obteve o valor de 0,180mm, mostrando assim que os reforços adicionados a estrutura foram suficientes para atender questões estruturais de desvio de dimensões.

Figura 45 - Resultado da simulação da estrutura.

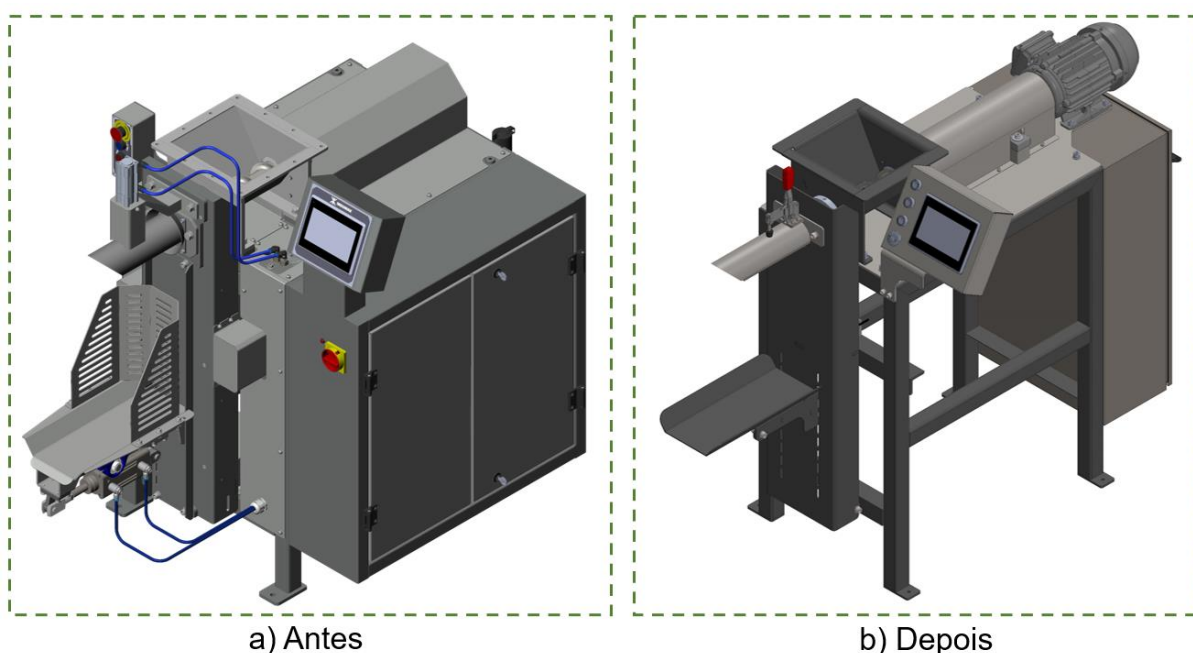


Fonte: do autor (2022)

4.4.3 Comparação entre projetos

Na Figura 46 pode-se observar um comparativo dos equipamentos antes e depois da aplicação dos conceitos de DFM/A, pode-se observar claramente que houve uma significativa redução dos componentes do equipamento, sem perder critérios de funcionabilidade.

Figura 46 - Comparativo entre projetos – a) antes da aplicação do DFMA; b- após DFMA.



Fonte: do autor (2022)

Para comparação desses projetos, utiliza-se dados para comparar os valores obtidos, de custos, quantidades de peças e quantidades de elementos de fixações do projeto base e do projeto desenvolvido neste trabalho. A Tabela 5 compara de forma isolada os dados da variação da quantidade de peças do projeto original e do reprojeto, mostrando nas colunas “Diferença” e “Diferença Percentual” os resultados obtidos em relação à quantidade total de peças do projeto. Em relação a quantidade de peças, destaca-se a redução 76,44% no número total de componentes do projeto, sendo que apenas o subconjunto “estrutura” apresentou resultado inferior a 50% e o subconjunto “bico” que se manteve como o projeto original na quantidade de peças.

Tabela 5 - Variação na quantidade de peças.

SUBCONJUNTO	ORIGINAL	REPROJETO	DIFERENÇA	DIFERENÇA %
ACIONAMENTO	13	2	-11	84,62%
BICO	1	1	0	0,00%
CARENAGENS	12	1	-11	91,67%
DOSAGEM	27	10	-17	62,96%
ESTRUTURA	35	20	-15	42,86%
EXPULSADOR	11	3	-8	72,73%
IHM/COMANDO	7	3	-4	57,14%
PAINEL	25	1	-24	96,00%
PESAGEM	16	5	-11	68,75%
PNEUMÁTICO	39	0	-39	100,00%
PRENDEDOR	5	1	-4	80,00%
TOTAL	191	45	-146	76,44%

Fonte: do autor (2022).

Na Tabela 6 é apresentado um comparativo da variação da quantidade de elementos de fixação. Pode-se perceber que houve uma redução de 473 elementos de fixação, representando uma taxa de 70,28% de redução destes componentes, sendo que apenas o subconjunto “estrutura” não apresentou alteração, uma vez que este subconjunto não possui necessidade de elementos de fixação. As reduções nos elementos de fixação estão diretamente relacionadas a quantidade de peças e apresentam resultados satisfatórios de forma semelhante variação da quantidade de componentes.

Tabela 6 - Variação na quantidade de elementos de fixação.

SUBCONJUNTO	ORIGINAL	REPROJETO	DIFERENÇA	DIFERENÇA %
ACIONAMENTO	42	12	-30	71,43%
BICO	14	6	-8	57,14%
CARENAGENS	114	18	-96	84,21%
DOSAGEM	82	62	-20	24,39%
ESTRUTURA	-	-	-	-
EXPULSADOR	76	12	-64	84,21%
IHM/COMANDO	70	24	-46	65,71%
PAINEL	92	12	-80	86,96%
PESAGEM	111	42	-69	62,16%
PNEUMÁTICO	48	0	-48	100,00%
PRENDEDOR	24	12	-12	50,00%
TOTAL	673	200	-473	70,28%

Fonte: do autor (2022)

Em relação à variação no custo de fabricação entre projeto original e reprojetado, destaca-se a redução de 53,24% entre os projetos, conforme mostra a Tabela 7. Pode-se destacar também a melhoria nos custos dos dois subconjuntos de maior expressão do equipamento, a dosagem e a pesagem, que tiveram redução de 40,39% e 60,22% respectivamente. Quanto aos dados dos subconjuntos Comando e IHM do projeto original, que anteriormente, neste trabalho, foram apresentados separados, para o uso nas tabelas de comparação, os mesmos passaram a ser somados.

Tabela 7 - Diferença custos.

SUBCONJUNTO	ORIGINAL	REPROJETADO	DIFERENÇA	DIFERENÇA %
ACIONAMENTO	R\$ 2.196,15	R\$ 1.343,33	-R\$ 852,82	38,83%
BICO	R\$ 312,43	R\$ 264,26	-R\$ 48,17	15,42%
CARENAGENS	R\$ 793,71	R\$ 127,13	-R\$ 666,57	83,98%
DOSAGEM	R\$ 8.548,18	R\$ 5.095,68	-R\$ 3.452,50	40,39%
ESTRUTURA	R\$ 4.363,26	R\$ 1.537,56	-R\$ 2.825,70	64,76%
EXPULSOR	R\$ 1.380,70	R\$ 165,83	-R\$ 1.214,87	87,99%
IHM/COMANDO	R\$ 713,22	R\$ 330,34	-R\$ 382,88	53,68%
PAINEL	R\$ 1.396,09	R\$ 925,00	-R\$ 471,09	33,74%
PESAGEM	R\$ 3.646,18	R\$ 1.450,48	-R\$ 2.195,71	60,22%
PNEUMÁTICO	R\$ 770,38	R\$ 0,00	-R\$ 770,38	100,00%
PRENDEDOR	R\$ 351,05	R\$ 202,41	-R\$ 148,64	42,34%
TOTAL	R\$ 24.471,35	R\$ 11.442,02	-R\$ 13.029,33	53,24%

Fonte: do autor (2022).

Na Tabela 8 é apresentado um resumo dos principais resultados obtidos, incluindo informações de estimativa de peso, comprovando a eficácia do projeto baseado nos métodos do DFM/A.

Tabela 8 - Resumos dos resultados obtidos.

	Original	Reprojetado	Redução [%]
Peças [un]	191	45	76,44%
Elementos de fixação [un]	673	200	70,28%
Custo [R\$]	24.471,35	11.442,02	53,24%
Peso estimado [kg]	350	180	48,57%

Fonte: do autor (2022).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesta dissertação tomou-se como objetivo o reprojeto de uma máquina ensacadeira com funcionamento por helicóide sem fim, utilizando como ferramenta os métodos e recomendações da metodologia DFM/A, de forma a atingir uma redução no número de componentes do projeto e conseqüentemente no custo de fabricação da máquina.

Quanto aos conteúdos abordados no capítulo de fundamentação teórica, destaca-se a importância do estudo dos parâmetros da metodologia do DFM/A abordados principalmente pelos autores Boothroyd et.al., utilizados como norteadores do desenvolvimento do projeto deste estudo. Vale ressaltar também as informações obtidas em pesquisas em outros artigos e dissertações cujo abordaram temas semelhantes a este trabalho, utilizando-se de outras experiências para agregar a este desenvolvimento.

Com o uso dos norteadores da metodologia DFM/A neste trabalho, foi possível realizar um projeto enxuto, trazendo melhorias à fabricação dos componentes de cada subconjunto da máquina, bem como reduzindo o número de peças e elementos de fixação presentes no projeto e desta forma obtendo resultado satisfatório na diferença de custo em relação ao projeto base deste trabalho.

Em relação aos objetivos específicos desta monografia, a obtenção dos dados para o levantamento de subconjuntos e peças presentes no projeto atual foi possível utilizando-se das informações disponíveis na empresa fabricante do projeto base da máquina, bem como os custos da máquina base, que também foram obtidos utilizando-se do software ERP utilizado na empresa.

Após análise do projeto base as melhorias passaram a ser propostas e desenvolvidas no software de modelagem 3D *Solidworks* de forma concomitante, desta forma foi possível realizar as alterações necessárias para atingir um resultado final de projeto satisfatório. Com o reprojeto feito, foi possível orçar os custos com a rede de fornecedores da empresa fabricante da ensacadeira base para este trabalho.

Com todos os dados citados anteriormente disponíveis, foi possível realizar o comparativo entre os projetos, desta forma podendo validar que as alterações feitas tiveram resultados positivos em relação a quantidade de partes, elementos de fixação e custos. O comparativo entre os projetos, demonstrou o funcionamento dos métodos de DFM/A aplicadas ao reprojeto da máquina buscando redução de custos, pois o

projeto desenvolvido apresentou diminuição acima de 75% na quantidade de peças, redução maior que 70% em relação aos elementos de fixação e o resultado obtido no custo foi uma diferença de 52% no custo total das partes mecânicas da máquina.

Para estudos futuros, tem-se a possibilidade de aplicação da metodologia em outros modelos de máquinas, equipamentos ou qualquer produto que necessite de melhorias no projeto e redução de custos, seja o projeto de maior ou menor complexidade, a ferramenta utilizada se mostra eficiente nos quesitos abordados neste trabalho. Outra possibilidade de estudo é combinar o DFM/A com outras metodologias de desenvolvimento de projeto.

REFERÊNCIAS

AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE / CONVEYOR EQUIPMENT MANUFACTURERS ASSOCIATION: **Screw Conveyors for Bulk Materials**. 350. 5 ed. Naples, Florida: Cema, 2019.

BACK, Nelson *et al.* **Projeto Integrado de Produtos**: planejamento, concepção e modelagem. Barueri: Manole, 2008.

BAXTER, Mike. **Projeto de Produto**: guia prático para o design de novos produtos. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2000. Tradução: Itiro lida.

BOOTHROYD, Geoffrey *et al.* **Product Design for Manufacture and Assembly**. 3. ed. Boca Raton: Crc Press, 2011.

BRALLA, James G.. **Design for manufacturability handbook**. 2. ed. New York: McGraw-Hill, 1998.

FERREIRA, Edgar Willians Negrini; CAMARGO, Roderlei. **Contribuição das técnicas de análise do valor, DFMA e FMEA, aplicadas em um elevador monta carga**: um estudo de caso focado na melhoria do projeto. In: Encontro nacional de engenharia de produção, Salvador. 2013.

FIALHO, Luiz Filipe Lopes *et al.* **Simulação e Projeto de Células de Carga**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2014.

FINOTTI, Maurício Bombonato *et al.* **DFM/A em Ação: a metodologia aplicada no desenvolvimento de uma secadora centrífuga**. In: XV Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, Águas de Lindóia. 1999.

HUANG, George Q.. **Design for X**: concurrent engineering imperatives. London: Chapman & Hall, 1996.

KWS MANUFACTURING COMPANY LTD. **Screw Conveyors**. [S.I.]: Kws

Manufacturing Company, Ltd, 2016. Disponível em: <https://www.kwsmfg.com/wp-content/themes/va/pdf/Screw-Conveyor-Engineering-Guide.pdf>. Acesso em: 11 maio 2022.

OMEGA ENGINEERING. **Load Cells & Force Sensors**: what is a load cell & how does it work?. What is a Load Cell & How Does it Work?. Disponível em: <https://www.omega.com/en-us/resources/load-cells>. Acesso em: 04 ago. 2022.

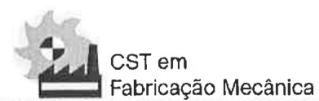
PAHL, Gerhard *et al.* **Projeto na Engenharia**: fundamentos do desenvolvimento eficaz de produtos métodos e aplicações. 6. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2005. Tradução: Hans Andreas Werner.

RICARDO, José Luís Anselmo. **Aplicações dos Sistemas de Pesagem na Indústria das Rações**. 2017. 121 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Eletrotécnica, Escola Superior de Tecnologia e Gestão, Instituto Politécnico de Leiria, Leiria, 2017.

ROZENFELD, Henrique *et al.* **Gestão de Desenvolvimento de Produtos**: uma referência para melhoria do processo. São Paulo: Saraiva, 2006.

SILVA, Willian Paulo da. **DFM/A aplicado ao reprojeto de um sistema para colheita mecanizada de mexilhões**. 2019. 54 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecatrônica, Instituto Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019.

APÊNDICE A - AUTORIZAÇÃO PARA REALIZAÇÃO DE PESQUISA



Solicitação de Autorização para Pesquisa

Jaraguá do Sul, 13 de Dezembro de 2022

Eu, **Lucas dos Santos**, responsável principal pelo projeto de Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) denominado preliminarmente de **APLICAÇÃO DE METODOLOGIA DFM/A NO REPROJETO DE UMA MÁQUINA ENSACADEIRA: Abordagem Voltada a Redução de Custos**, do Curso Superior de Tecnologia em Fabricação Mecânica do IFSC – Câmpus Jaraguá do Sul - RAU, venho pelo presente, solicitar autorização da [REDACTED] para a realização da coleta de dados em sua empresa no período de abril/2022 a dezembro/2022, com o objetivo de aplicar conceitos de desenvolvimento e projeto de máquinas para reprojeto de uma máquina ensacadeira de rosca sem fim, buscando a otimização de suas partes, melhorando funcionamento e reduzindo custos para se obter competitividade no mercado. Esta pesquisa está sendo orientada pelo Prof. Cassiano Rodrigues Moura, pesquisador do IFSC.

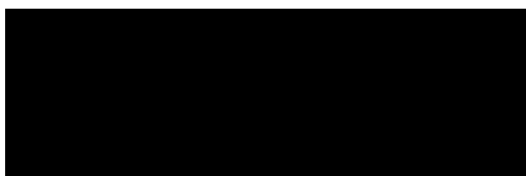
Para o desenvolvimento desta pesquisa, solicito autorização para a realizar a coleta de dados que consistirá em análise de projeto de máquina, imagens através de capturas de telas. Saliento que as coletas serão tratadas de forma anônima e confidencial, isto é, em nenhum momento será divulgado o nome de um funcionário e da empresa ou informações estratégicas do produto, em qualquer fase do estudo. As imagens serão divulgadas somente nesta pesquisa e os resultados divulgados em eventos e/ou revistas científicas, tomando o cuidado de não identificar pessoa, marca, produto ou estratégias de produto da empresa.

Contando com a autorização desta instituição, agradecemos e coloco-me à disposição para qualquer esclarecimento.



Lucas dos Santos - Pesquisador Principal
Lbressaninids@gmail.com
47 98808-9380

Autorizo:



APÊNDICE B – TABELA DE CUSTOS COMPLETO PROJETO ORIGINAL

Descrição do Componente	Qty Peças	Qty. Fixações	Valor Total	Percentual
ACIONAMENTO	13	42	R\$ 2.196,15	8,97%
ARRUELA DE PRESSAO M10		6	R\$ 0,66	0,03%
ARRUELA LISA M12		4	R\$ 0,71	0,03%
ARRUELA LISA M10		12	R\$ 1,40	0,06%
PORCAS M10		6	R\$ 1,80	0,08%
PORCA M12		4	R\$ 1,76	0,08%
ANEL ELASTICO 19X1,20		4	R\$ 1,42	0,06%
PARAFUSO SEXTAVADO M10X25		2	R\$ 1,31	0,06%
PARAFUSO SEXTAVADO M10X30		4	R\$ 2,96	0,13%
BUCHA EXPANSIVA SIT-LOCK-5A F24-50	1		R\$ 81,68	3,72%
BASE MOTOR	1		R\$ 125,87	5,73%
SUPORTE DO EIXO	2		R\$ 20,24	0,92%
POLIA SINCRONIZADA 106mm 8M 30 Z40 USINADA	1		R\$ 180,49	8,22%
EIXO ESTICADOR	1		R\$ 61,32	2,79%
EIXO FIXO	1		R\$ 70,07	3,19%
MOTOR 3CV	1		R\$ 1.110,12	50,55%
ESTICADOR	2		R\$ 171,36	7,80%
CORREIA DENTADA HTD-920-8M30-Z=115	1		R\$ 100,82	4,59%
POLIA SINCRONIZADA 106mm 8M 30 Z40.USI	1		R\$ 180,49	8,22%
BUCHA EXPANSIVA SIT-LOCK-5A F24-50	1		R\$ 81,68	3,72%
Descrição do Componente	Qty Peças	Qty. Fixações	Valor Total	Percentual
BICO	1	14	R\$ 312,43	1,28%
PARAFUSO ALLEN M6X16		4	R\$ 1,63	0,52%
ARRUELA LISA M12		2	R\$ 0,35	0,11%
ARRUELA DE PRESSAO M12		2	R\$ 0,35	0,11%
ARRUELA DE PRESSAO M6		4	R\$ 0,15	0,05%
PARAFUSO SEXTAVADO M12X30		2	R\$ 1,93	0,62%
BICO	1		R\$ 308,03	98,59%
Descrição do Componente	Qty Peças	Qty. Fixações	Valor Total	Percentual
CARENAGENS	12	114	R\$ 793,71	3,24%
PRENSA CABO 1/2"	2		R\$ 4,39	0,55%
PRENSA CABO 3/4"	2		R\$ 5,86	0,74%
ARRUELA LISA M6		38	R\$ 1,61	0,20%
ARRUELA DE PRESSÃO M6		38	R\$ 1,42	0,18%
PARAFUSO ABAULADO M6X16		38	R\$ 7,60	0,96%
CARENAGEM POSTERIOR	1		R\$ 165,94	20,91%
CARENAGEM LATERAL DIREITA	1		R\$ 213,16	26,86%
CARENAGEM FRONTAL DIREITA	1		R\$ 52,45	6,61%
CARENAGEM FRONTAL ESQUERDA	1		R\$ 52,45	6,61%
CARENAGEM DOSAGEM	1		R\$ 229,60	28,93%

CARENAGEM SUPERIOR LATERAL	2		R\$ 37,80	4,76%
CARENAGEM SUPERIOR CENTRAL	1		R\$ 21,42	2,70%
Descrição do Componente	Qty Peças	Qty. Fixações	Valor Total	Percentual
COMANDO	3	16	R\$ 213,94	0,87%
ARRUELA LISA M8		6	R\$ 0,44	0,21%
PORCA M8		2	R\$ 0,28	0,13%
ARRUELA DE PRESSÃO M8		4	R\$ 0,28	0,13%
PARAFUSO SEXTAVADO M8X20		4	R\$ 1,30	0,61%
CAIXA POLIESTER 75x190x75	1		R\$ 122,77	57,39%
ADESIVO BOTOEIRAS	1		R\$ 60,62	28,34%
SUPORTE	1		R\$ 28,25	13,20%
Descrição do Componente	Qty Peças	Qty. Fixações	Valor Total	Percentual
DOSAGEM	27	82	R\$ 8.548,18	34,93%
PARAFUSO SEXTAVADO M5X30		4	R\$ 2,09	0,02%
ARRUELA DE PRESSAO M10		18	R\$ 1,99	R\$ 0,00
ARRUELA LISA M5		2	R\$ 0,05	0,00%
ARRUELA LISA M10		18	R\$ 2,10	0,02%
ARRUELA DE PRESSAO M5		2	R\$ 0,05	0,00%
PARAFUSO ALLEN M6X20		8	R\$ 3,35	0,04%
PARAFUSO SEXTAVADO M5X16		2	R\$ 0,27	0,00%
ARRUELA DE PRESSÃO M6		8	R\$ 0,30	0,00%
PARAFUSO SEXTAVADO M10X35		8	R\$ 6,37	0,07%
PARAFUSO SEXTAVADO M10X30		8	R\$ 5,91	0,07%
PARAFUSO SEXTAVADO M10X45		2	R\$ 1,77	0,02%
PARAFUSO SEM CABEÇA M5X6		2	R\$ 0,76	0,01%
RETENTOR BRG	5		R\$ 218,25	2,55%
GRAXEIRA RETA M8x1	2		R\$ 1,81	0,02%
ROLAMENTO AUTOCOMPESADOR	2		R\$ 125,23	1,46%
BUCHA	2		R\$ 34,94	0,41%
PORCA MK7	2		R\$ 74,07	0,87%
ARRUELA MB7	2		R\$ 14,37	0,17%
PINO GUIA	2		R\$ 2,76	0,03%
TAMPA MANCAL	2		R\$ 494,49	5,78%
ESPACADOR MANCAL	1		R\$ 177,03	2,07%
MANCAL CENTRAL	1		R\$ 378,67	4,43%
ROSCA DOSADORA	1		R\$ 3.350,94	39,20%
BICO INTERNO	1		R\$ 640,01	7,49%
BUCHA INTERNA	1		R\$ 76,90	0,90%
MANCAL TRASEIRO	1		R\$ 290,08	3,39%
ESTRUTURA BASE MOEGA	1		R\$ 1.092,87	12,78%
MOEGA	1		R\$ 1.550,75	18,14%
Descrição do Componente	Qty Peças	Qty. Fixações	Valor Total	Percentual
ESTRUTURA	35	0	R\$ 4.363,26	17,83%

TUBO QUADRADO AÇO AISI 1020 o50 #3	1			
TUBO QUADRADO AÇO AISI 1020 o50 #3	1			
TUBO QUADRADO AÇO AISI 1020 o50 #3	2			
TUBO QUADRADO AÇO AISI 1020 o50 #3	2			
TUBO QUADRADO AÇO AISI 1020 o50 #3	1			
TUBO QUADRADO AÇO AISI 1020 o50 #3	1			
TUBO QUADRADO AÇO AISI 1020 o50 #3	1			
TUBO QUADRADO AÇO AISI 1020 o50 #3	1			
TUBO QUADRADO AÇO AISI 1020 o50 #3	1			
TUBO QUADRADO AÇO AISI 1020 o50 #3	1			
TUBO QUADRADO AÇO AISI 1020 o50 #3	2			
CHAPA AÇO AISI 1020 #9,53	4			
CHAPA AÇO AISI 1020 #4,76	1			
CHAPA AÇO AISI 1020 #7,94	1			
CHAPA AÇO AISI 1020 #4,76	4			
CHAPA AÇO AISI 1020 #4,76	1			
CHAPA AÇO AISI 1020 #4,76	1			
CHAPA AÇO AISI 1020 #9,53	2			
CANTONEIRA AÇO 1020 50,80X9,525	1			
CANTONEIRA AÇO 1020 50,80X9,525	1			
CANTONEIRA AÇO 1020 50,80X9,525	1			
BARRA REDONDA AÇO AISI 1020 Ø25	4			
Descrição do Componente	Qty Peças	Qty. Fixações	Valor Total	Percentual
EXPULSOR	11	76	R\$ 1.380,70	5,64%
ARRUELA DE PRESSÃO M10		6	R\$ 0,66	0,05%
ARRUELA LISA M8		16	R\$ 1,18	0,09%
ARRUELA LISA M10		6	R\$ 0,70	0,05%
PORCA M8		10	R\$ 1,39	0,10%
PARAFUSO ALLEN M8X30		4	R\$ 4,11	0,30%
PARAFUSO ALLEN M8X20		10	R\$ 8,19	0,59%
ARRUELA DE PRESSAO M8		18	R\$ 1,25	0,09%
PARAFUSO ALLEN M10X40		2	R\$ 4,06	0,29%
PARAFUSO ALLEN M10X30		4	R\$ 6,29	0,46%
GARFO M16X1,50	1		R\$ 37,50	2,72%
MANCAL UCP	2		R\$ 74,87	5,42%
FLANGE OSCILANTE	1		R\$ 80,16	5,81%
CAVALETE LNG	1		R\$ 87,22	6,32%
SUORTE PRATO EXPULSOR KSP/KSG/KRO C/EPOXI	1		R\$ 101,55	7,35%
CAVALETE CRLMC	1		R\$ 298,25	21,60%
PRATO EXPULSOR	1		R\$ 164,77	11,93%
APARADOR	1		R\$ 137,26	9,94%
CILINDRO PNEUMATICO	1		R\$ 279,07	20,21%
EIXO	1		R\$ 92,21	6,68%

Descrição do Componente	Qty Peças	Qty. Fixações	Valor Total	Percentual
IHM	4	54	R\$ 499,28	2,04%
ARRUELA LISA M5		10	R\$ 0,24	0,05%
ARRUELA LISA M8		8	R\$ 0,59	0,12%
ARRUELA DE PRESSAO M5		10	R\$ 0,23	0,05%
PARAFUSO SEXTAVADO M8X16		8	R\$ 2,47	0,49%
ARRUELA DE PRESSAO M8		8	R\$ 0,56	0,11%
PARAFUSO ABAULADO M5X12		10	R\$ 2,63	0,53%
SUORTE PAINEL IHM	1		R\$ 96,28	19,28%
PAINEL IHM	1		R\$ 130,68	26,17%
FECHAMENTO PAINEL IHM	1		R\$ 21,48	4,30%
ADESIVO	1		R\$ 244,13	48,90%
Descrição do Componente	Qty Peças	Qty. Fixações	Valor Total	Percentual
PAINEL	25	92	R\$ 1.396,09	5,71%
PRENSA CABO 3/4"	5		R\$ 14,66	1,05%
ARRUELA LISA M5		8	R\$ 0,19	0,01%
ARRUELA LISA M8		20	R\$ 1,47	0,11%
ARRUELA DE PRESSAO M5		8	R\$ 0,19	0,01%
PORCA M8		12	R\$ 1,67	0,12%
ARRUELA DE PRESSAO M8		8	R\$ 0,56	0,04%
REBITE		4	R\$ 0,26	0,02%
PORCA M5		8	R\$ 0,40	0,03%
PARAFUSO SEXTAVADO M8X20		4	R\$ 1,30	0,09%
PARAFUSO SEXTAVADO M8X45		4	R\$ 1,79	0,13%
DOBRADICA	4		R\$ 89,71	6,43%
PERFIL ESPONJOSO 13x6mm	1		R\$ 4,43	0,32%
PERFIL.ESPONJOSO 15X10	4		R\$ 30,31	2,17%
PARAFUSO ESCAREADO M5X16		8	R\$ 3,72	0,27%
PARAFUSO ESCAREADO M5X12		8	R\$ 2,88	0,21%
GRELHA EXAUSTORA	1		R\$ 33,36	2,39%
SUORTE DOBRADICA	4		R\$ 28,13	2,02%
FECHO LINGUETA	2		R\$ 40,49	2,90%
PORTA DIREITA	1		R\$ 129,75	9,29%
PORTA ESQUERDA	1		R\$ 145,09	10,39%
CHASSI PAINEL ELETRICO	1		R\$ 178,05	12,75%
PAINEL ELETRICO	1		R\$ 687,67	49,26%
Descrição do Componente	Qty Peças	Qty. Fixações	Valor Total	Percentual
PESAGEM	16	111	R\$ 3.646,18	14,90%
ARRUELA DE PRESSAO M10		6	R\$ 0,66	0,02%
ARRUELA LISA M6		7	R\$ 0,30	0,01%
ARRUELA LISA M12		8	R\$ 1,42	0,04%
ARRUELA LISA M10		6	R\$ 0,70	0,02%
PARAFUSO SEXTAVADO M10X20		2	R\$ 1,20	0,03%

ARRUELA DE PRESSAO M12		4	R\$ 0,69	0,02%
ARRUELA DE PRESSAO M6		7	R\$ 0,26	0,01%
PORCA M10		2	R\$ 0,60	0,02%
PORCA M12		2	R\$ 0,88	0,02%
PORCA M6		1	R\$ 0,07	0,00%
PARAFUSO ALLEN M10X20		4	R\$ 5,77	0,16%
PARAF SEM CABEÇA M8X8		8	R\$ 2,15	0,06%
PARAFUSO SEXTAVADO M12X50		2	R\$ 2,84	0,08%
PARAFUSO SEXTAVADO M12X30		2	R\$ 1,93	0,05%
PARAFUSO ABAULADO M6X10		6	R\$ 1,44	0,04%
SUPORTE EXPULSADOR	1		R\$ 135,58	3,72%
COLUNA PESAGEM	1		R\$ 719,68	19,74%
CARENAGEM CELULA DE CARGA	2		R\$ 105,12	2,88%
CELULA DE CARGA	2		R\$ 1.747,46	47,93%
ARRUELA DE PRESSAO M10		4	R\$ 0,44	0,01%
ARRUELA LISA M8		6	R\$ 0,44	0,01%
ARRUELA LISA M10		4	R\$ 0,47	0,01%
PARAFUSO ALLEN M8X30		2	R\$ 2,05	0,06%
ARRUELA LISA 1/4"		4	R\$ 0,22	0,01%
ARRUELA DE PRESSAO M6		4	R\$ 0,15	0,00%
ARRUELA DE PRESSAO M8		6	R\$ 0,42	0,01%
PARAFUSO SEXTAVADO M8X20		2	R\$ 0,65	0,02%
ROLAMENTO RIGIDO DE ESFERA	2		R\$ 8,98	0,25%
PARAFUSO SEXTAVADO M6X16		4	R\$ 0,65	0,02%
PARAFUSO SEXTAVADO M8X30		4	R\$ 1,64	0,04%
PARAFUSO SEXTAVADO M10X30		4	R\$ 2,96	0,08%
PROTEÇÃO	1		R\$ 60,67	1,66%
EIXO ROLAMENTO	2		R\$ 131,77	3,61%
SUPORTE FIXO	1		R\$ 111,52	3,06%
SUPORTE REGULAGEM	1		R\$ 128,93	3,54%
REGULAGEM	2		R\$ 379,89	10,42%
SUPORTE ARTICULADOR	1		R\$ 85,60	2,35%
Descrição do Componente	Qty Peças	Qty. Fixações	Valor Total	Percentual
PNEUMÁTICA	39	48	R\$ 770,38	3%
CONEXAO.COTOVELO 3/8" - 8	2		R\$ 12,44	1,61%
SILENCIADOR 1/4"	4		R\$ 52,57	6,82%
CONEXAO EM "Y" 8	1		R\$ 10,08	1,31%
PORCA M5		4	R\$ 0,91	0,12%
PARAFUSO ALLEN M5X20 INOX		2	R\$ 1,24	0,16%
PRENSA CABO ROSCA GAS 3/4"	1		R\$ 2,93	0,38%
ARRUELA LISA M5		8	R\$ 0,75	0,10%
ARRUELA LISA M8		4	R\$ 0,92	0,12%
ARRUELA LISA M3		8	R\$ 0,32	0,04%
ARRUELA DE PRESSAO M5		4	R\$ 0,28	0,04%

ARRUELA DE PRESSAO M3		6	R\$ 0,13	0,02%
ARRUELA DE PRESSAO M8		2	R\$ 0,46	0,06%
PARAFUSO ALLEN M8X20		2	R\$ 3,30	0,43%
PORCA M8		2	R\$ 0,96	0,12%
CONEXAO RETA 1/4" - 8	6		R\$ 22,07	2,86%
CONEXAO COTOVELO 1/4" -8	3		R\$ 16,58	2,15%
CONEXAO PASSA MURO 1/4" - 8	3		R\$ 50,59	6,57%
CONEXAO COTOVELO 1/8" - 8	2		R\$ 10,65	1,38%
PORCA M3		6	R\$ 0,40	0,05%
LED 24VDC	2		R\$ 68,41	8,88%
BOBINA 24VDC	2		R\$ 35,90	4,66%
CONECTOR FEMEA	2		R\$ 17,52	2,27%
PORCA MS6-WRS	1		R\$ 11,08	1,44%
REGULADOR PRESSÃO MS6	1		R\$ 120,11	15,59%
SUPORTE MS6-WR	1		R\$ 7,89	1,02%
VALVULA SOLENOIDE	2		R\$ 222,50	28,88%
VALVULA REGULADORA FLUXO 3/8" - 8	2		R\$ 69,49	9,02%
NIPLE	2		R\$ 18,65	2,42%
BARRA ROSCADA INOX M3	2		R\$ 11,26	1,46%
Descrição do Componente	Qty Peças	Qty. Fixações	Valor Total	Percentual
PRENDEDOR	5	24	R\$ 351,05	1,43%
CILINDRO PNEUMATICO	1		R\$ 174,41	49,68%
PARAFUSO ALLEN M6X25		4	R\$ 2,05	0,59%
ARRUELA LISA M6		6	R\$ 0,25	0,07%
ARRUELA LISA M12		2	R\$ 0,35	0,10%
ARRUELA DE PRESSAO M12		2	R\$ 0,35	0,10%
ARRUELA DE PRESSAO M6		6	R\$ 0,22	0,06%
PARAFUSO SEXTAVADO M12X30		2	R\$ 1,93	0,55%
PARAFUSO ABAULADO M6X8		2	R\$ 4,94	1,41%
BATENTE	1		R\$ 13,07	3,72%
PROTECAO	1		R\$ 36,19	10,31%
SUPORTE CILINDRO	1		R\$ 72,49	20,65%
ADAPTADOR	1		R\$ 44,79	12,76%
TOTAL	191	673	R\$ 24.471,35	100,00%

APÊNDICE C - TABELA DE CUSTOS COMPLETO REPROJETO

Descrição do Componente	Qty Peças	Qty. Fixações	Valor Total	Percentual
ACIONAMENTO	2	12	R\$ 1.343,33	11,47%
MOTOR TRIFÁSICO 3CV	1		R\$ 1.139,48	84,83%
ACOPLAMENTO FLEXIVEL	1		R\$ 200,00	14,89%
PARAFUSO ALLEN M8X20		4	R\$ 3,28	0,24%
ARRUELA LISA M8		4	R\$ 0,29	0,02%
ARRUELA DE PRESSÃO M8		4	R\$ 0,28	0,02%
Descrição do Componente	Qty Peças	Qty. Fixações	Valor Total	Percentual
BICO	1	6	R\$ 264,26	2,26%
BICO SOLDADO	1		R\$ 260,80	98,69%
PARAFUSO M10X25		2	R\$ 3,00	1,14%
ARRUELA LISA M10		2	R\$ 0,24	0,09%
ARRUELA DE PRESSÃO M10		2	R\$ 0,22	0,08%
Descrição do Componente	Qty Peças	Qty. Fixações	Valor Total	Percentual
CARENAGENS	1	18	R\$ 127,13	1,09%
PROTEÇÃO	1		R\$ 126,00	99,11%
PARAFUSO M5X10		6	R\$ 0,84	0,66%
ARRUELA LISA M5		6	R\$ 0,16	0,12%
ARRUELA DE PRESSÃO M5		6	R\$ 0,14	0,11%
Descrição do Componente	Qty Peças	Qty. Fixações	Valor Total	Percentual
DOSAGEM	10	62	R\$ 5.368,70	45,83%
PARAFUSO SEM CABEÇA M8X16		4	R\$ 2,00	0,04%
PARAFUSO ALLEN M8X30		4	R\$ 4,08	0,08%
PARAFUSO ALLEN M10X16		10	R\$ 5,70	0,11%
ARRUELA DE PRESSÃO M10		10	R\$ 1,10	0,02%
ARRUELA LISA M10		10	R\$ 1,20	0,02%
ARRUELA LISA M8		4	R\$ 0,29	0,01%
PARAFUSO ALLEN M10X70		2	R\$ 9,94	0,19%
ARRUELA ABA LARGA M10		2	R\$ 1,90	0,04%
PARAFUSO ALLEN M8X85		4	R\$ 53,08	0,99%
ARRUELA DE PRESSÃO M8		8	R\$ 0,55	0,01%
ARRUELA ABA LARGA M8		4	R\$ 0,32	0,01%
MANCAL UCFC 206	1		R\$ 84,00	1,56%
MANCAL UCP 306	1		R\$ 113,50	2,11%
RETENTOR	1		R\$ 43,65	0,81%
ESPAÇADOR MANCAL	1		R\$ 79,41	1,48%
BUCHA DO TUBO	1		R\$ 300,75	5,60%
TUBO BICO	1		R\$ 78,77	1,47%
BUCHA DO MANCAL	1		R\$ 193,61	3,61%
ROSCA DOSADORA	1		R\$ 3.350,94	62,42%
CHAPA BASE	1		R\$ 398,90	7,43%

MOEGA	1		R\$ 645,00	12,01%
Descrição do Componente	Qty Peças	Qty. Fixações	Valor Total	Percentual
ESTRUTURA	20	0	R\$ 1.537,56	13,12%
TUBO 50X50X3 COMPRIMENTO 950	1			
TUBO 50X50X3 COMPRIMENTO 950	1			
TUBO 50X50X3 COMPRIMENTO 650	2			
TUBO 50X50X3 COMPRIMENTO 950	2			
TUBO 50X50X3 COMPRIMENTO 750	2			
CHAPA #6,35	4			
CANTONEIRA 50,8X4,76X400	2			
CANTONEIRA 50,8X7,94X500	1			
CANTONEIRA 50,8X4,76X400	3			
Descrição do Componente	Qty Peças	Qty. Fixações	Valor Total	Percentual
EXPULSADOR	3	12	R\$ 165,83	1,42%
PARAFUSO ALLEN M10X35		2	R\$ 3,66	2,21%
PORCA M10		4	R\$ 1,20	0,72%
ARRUELA LISA M10		6	R\$ 0,72	0,72%
TRAVA EXPULSADOR	1		R\$ 5,15	3,11%
PRATO ARTICULADO	1		R\$ 89,00	53,67%
SUORTE EXPULSADOR	1		R\$ 66,10	39,86%
Descrição do Componente	Qty Peças	Qty. Fixações	Valor Total	Percentual
IHM / COMANDO	3	24	R\$ 330,34	2,82%
PARAFUSO ALLEN M5X10		4	R\$ 0,06	0,02%
ARRUELA DE PRESSÃO M5		4	R\$ 0,09	0,03%
ARRUELA LISA M5		4	R\$ 0,10	0,03%
PARAFUSO ALLEN M8X16		4	R\$ 3,12	0,94%
ARRUELA DE PRESSÃO M8		4	R\$ 0,28	0,08%
ARRUELA LISA M8		4	R\$ 0,29	0,09%
TAMPA PAINEL IHM	1		R\$ 21,55	6,52%
SUORTE PAINEL IHM	1		R\$ 188,85	57,17%
PAINEL IHM	1		R\$ 116,00	35,12%
Descrição do Componente	Qty Peças	Qty. Fixações	Valor Total	Percentual
PAINEL	1	12	R\$ 925,00	7,90%
PAINEL PADRÃO 500X800X250	1		R\$ 925,00	100,00%
PARAFUSO ALLEN M8X16		4	R\$ 2,80	0,30%
ARRUELA LISA M8		4	R\$ 0,29	0,03%
ARRUELA DE PRESSÃO M8		4	R\$ 0,28	0,03%
Descrição do Componente	Qty Peças	Qty. Fixações	Valor Total	Percentual
PESAGEM	5	42	R\$ 1.450,48	12,38%
PARAFUSO ALLEN M8X35		4	R\$ 4,48	0,31%
PARAFUSO ALLEN M8X30		4	R\$ 4,08	0,28%
ARRUELA DE PRESSÃO M8		8	R\$ 0,55	0,04%

ARRUELA LISA M8		8	R\$ 0,58	0,04%
PARAFUSO ALLEN M10X25		2	R\$ 3,06	0,21%
PARAFUSO ALLEN M10X35		2	R\$ 3,66	0,25%
PORCA M10		2	R\$ 0,60	0,04%
ARRUELA DE PRESSÃO M10		4	R\$ 0,44	0,03%
ARRUELA LISA M10		8	R\$ 0,96	0,07%
ROLAMENTO 6300	2		R\$ 13,56	0,93%
BICO SACARIA	1		R\$ 260,80	17,98%
CÉLULA DE CARGA	1		R\$ 860,00	59,29%
CHAPA PESAGEM	1		R\$ 297,70	20,52%
Descrição do Componente	Qty Peças	Qty. Fixações	Valor Total	Percentual
PRENDEDOR	1	12	R\$ 202,41	1,73%
GRAMPO DE APERTO RÁPIDO	1		R\$ 200,85	99,23%
PARAFUSO ALLEN M6X12		4	R\$ 1,20	0,59%
ARRUELA LISA M6		4	R\$ 0,20	0,10%
ARRUELA DE PRESSÃO M6		4	R\$ 0,16	0,08%
TOTAL	47	200	R\$ 11.715,04	100,00%