

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
ESPECIALIZAÇÃO EM LEAN SIX SIGMA - BLACK BELT**

RAPHAEL CESAR MAXIMIANO

**ESTUDO DE OTIMIZAÇÃO DE CUSTO EM BASE DE COMPRESSOR
PARA REFRIGERADORES**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA

2021

RAPHAEL CESAR MAXIMIANO

**ESTUDO DE OTIMIZAÇÃO DE CUSTO EM BASE DE COMPRESSOR
PARA REFRIGERADORES**

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Lean Six Sigma – Certificação Black Belt, do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Emerson Rigoni, Dr. Eng.

CURITIBA

2021



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Curitiba
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação
Departamento Acadêmico de Eletrotécnica
Especialização em Lean Six Sigma – Certificação Black
Belt



TERMO DE APROVAÇÃO

ESTUDO DE OTIMIZAÇÃO DE CUSTO EM BASE DE COMPRESSOR PARA REFRIGERADORES

Por

RAPHAEL CESAR MAXIMIANO

Esta monografia foi apresentada em 02 de julho de 2021 como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Lean Six Sigma – Certificação Black Belt outorgado pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O aluno foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Emerson Rigoni, Dr. Eng.
Professor Orientador – UTFPR

Prof. Marcelo Rodrigues, Dr.
Membro Titular da Banca - UTFPR

Prof. Wanderson Stael Paris, M.Sc.
Membro Titular da Banca - UTFPR

O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso.

RESUMO

MAXIMIANO, Raphael Cesar. **Estudo De Otimização De Custo Em Base De Compressor Para Refrigeradores**. 2021. 68 páginas. Monografia (Especialização em Lean Six Sigma – Certificação Black Belt,) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2021.

O presente trabalho objetivou aplicar ferramentas da filosofia Lean Six Sigma para potencializar ganhos em determinada empresa fabricante de refrigeradores. O projeto foi impulsionado pela necessidade de redução de custos advinda da crise instaurada pela pandemia de COVID19 e pelo interesse da empresa em padronizar e otimizar design de peças. As atividades foram executadas em acordo com a estrutura DMADV que rege a metodologia DFSS e pelo uso das ferramentas análise de valor e DFMA. Foram avaliadas alternativas à matéria prima atual e ao processo adotado para montagem dos rolos. Essas ações geraram uma redução de pouco menos que 8% do custo total da peça com período de 4 meses para recuperação do capital investido. Por razões de disponibilidade de tempo, recursos e de pessoal, a implementação de parte das ações estava em andamento quando esse trabalho foi concluído. No entanto, é importante ressaltar que, além dos ganhos listados, o estudo desenvolvido nesse trabalho abriu caminho para mais estudos semelhantes em outras fábricas por causa dos ganhos e relativo baixo investimento.

Palavras-chave: Lean Sigma. DMADV. DFSS. Análise de valor. DFMA.

ABSTRACT

MAXIMIANO, Raphael Cesar. **Study in Cost Optimization for Compressor Base Used on Refrigerators**. 2021. 68 pages. Monograph (specialization on Lean Six Sigma –Black Belt Certification) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2021.

This study used tools from the Lean Six Sigma philosophy in order to generate gains through cost reduction for a refrigerator factory. The project was motivated by the necessity for minimizing costs due to COVID19 pandemic crisis and by the need for standardization and optimization of component's designs. The activities were executed in accordance with the DMADV method that structures the DFSS methodology and, through value analysis and DFMA, it was decided to focus the activities on finding an alternative for the current raw material specification and to internalize assembly for the rollers. Those actions generated little less than 8% reduction of component's total cost with a 4-month payback time. Due to restrictions on time, resources, and people there are still actions being deployed. Nevertheless, there are more potential savings than the ones listed. This study helped to identify similar opportunities in other factories that can result in new actions for minimize costs using relatively lower investment.

Keywords: Lean Sigma. DMADV. DFSS. Value analysis. DFMA.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1: ilustração de uma base do compressor.....	7
Figura 1.2: Gráficos que mostram a quantidade percentual de <i>PN's</i> atualmente em produção agrupado em acordo com a espessura de aço carbono utilizada.	11
Figura 1.3: Gráficos que mostram a quantidade percentual de bases de compressor produzidas anualmente usando aço carbono com a espessura proposta, a espessura que será substituída e demais espessuras.	12
Figura 1.4: Fluxograma com etapas do desenvolvimento do projeto	13
Figura 2.1: Bases de compressor utilizadas em uma fábrica de refrigeradores da Argentina.....	17
Figura 2.2: Fixação da base do compressor ao gabinete do refrigerador.	18
Figura 2.3: Fotografia de um produto comercializado no Brasil com ponto de aterramento do compressor na base do compressor.	18
Figura 2.4: Fotografia de um produto comercializado no Brasil com calha de evaporação (elemento plástico de cor cinza à direita) fixada à base do compressor.	19
Figura 2.5: Fotografia de compressor montado sobre buchas poliméricas à base do compressor.....	20
Figura 2.6: Disposição dos parafusos que fixam a base do compressor.	22
Figura 2.7: Flexão causada pelo peso do produto (<i>P</i>) atuando nas extremidades da base do compressor combinado com as reações do solo (R_A e R_B).	23
Figura 2.8: Momento gerado por resistência a rolagem do rolo (R_{At}) gerada pelo movimento de velocidade <i>V</i> e reação do solo (R_A).	23
Figura 2.9: Torção ao redor do eixo “ <i>x</i> ” gerada pelo gabinete quando uma das portas do refrigerador carregada é aberta.....	24
Figura 3.1: Fluxograma proposto para decisão sobre método de implementação a ser adotado.	27
Figura 3.2: Descrição das etapas do DMADV com os respectivos objetivos e resultados esperados.	28
Figura 3.3: Fluxograma de aplicação de DFMA em desenvolvimento de produtos...32	
Figura 3.4: Orientativa do livro Engineering Design de 1984. Peça “Errado” custava aproximadamente USD 0,678. Peça “Certo” custava aproximadamente USD 1,050.	33

Figura 3.5: Comparativo de distribuição do tempo aplicado a estágios de projeto com e sem uso de DFMA.....	34
Figura 4.1: Opções de interface entre base do compressor e solo: Opção “a” é uma geometria embutida na chapa metálica durante o processo de conformação e “b” é a alternativa com um rolo de polímero montado em um eixo metálico.....	43
Figura 4.2: Vista explodida da base de compressor atual (imagem ilustrativa).	46
Figura 4.3: Distribuição dos custos que compõem a base do compressor.	48
Figura 4.4: Plotagem dos valores dos custos e benefícios relativos das funções de valor.	52
Figura 4.5: Imagem comparativa ilustrando mudança de deslocamento máximo em componentes com chapas de espessuras distintas.	56
Figura 4.6: Imagem comparativa ilustrando mudança de tensão máxima em componentes com chapas de espessuras distintas.	56
Figura 4.7: Plano para execução de lote piloto tomando ciclo PDCA como guia base.	58

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 4.1: Padrão norte americano para medidas padrões de espessura de chapas metálicas.	38
Tabela 4.2: Referência teórica de preço para compra de chapas metálicas.	39
Tabela 4.3: Processo resumido da fabricação e montagem da base do compressor atual.	47
Tabela 4.4: Custo relativo de cada função de valor.	49
Tabela 4.5: Equivalência das letras no Diagrama Mudge e as funções de valor.	50
Tabela 4.6: Pesos utilizados para análise do diagrama Mudge.	50
Tabela 4.7: Diagrama de Mudge para cálculo do benefício relativo a cada função. .	50
Tabela 4.8: Valores dos custos e benefícios relativos das funções de valor.	51
Tabela 4.9: Cálculo de economia por peça e investimento total.	54
Tabela 4.10: Cálculo da economia anual.	54
Tabela 4.11: Parâmetros para serem avaliados durante validação de novos processos.	59
Tabela 4.12: Resumo dos ganhos.	60

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 4.1: <i>Project Charter</i> do projeto proposto.....	40
Quadro 4.2: Relação entre as necessidades dos clientes, requisitos de projeto e suas respectivas formas de medição.....	45

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	7
1.1	PREMISSAS E PROBLEMA DE PESQUISA	8
1.2	OBJETIVOS.....	9
1.2.1	Objetivo Geral.....	9
1.2.2	Objetivos Específicos	9
1.3	JUSTIFICATIVA.....	10
1.4	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	13
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO	15
2.	TEMA E ÁREA DE APLICAÇÃO	17
2.1	BASE DO COMPRESSOR	17
2.2	FABRICAÇÃO	21
2.3	FIXAÇÃO AO GABINETE E ESFORÇOS ATUANTES	22
2.4	SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO	24
3.	REFERENCIAL TEÓRICO	26
3.1	LEAN SIX SIGMA	26
3.2	ANÁLISE DE VALOR	29
3.3	DFMA	31
3.4	SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO	35
4.	APRIMORAMENTO DO PROJETO DA BASE DO COMPRESSOR....	37
4.1	<i>DEFINE</i>	37
4.1.1	Descrição do projeto.....	37
4.1.2	Viabilidade técnica.....	37
4.1.3	Viabilidade econômica.....	39
4.1.4	Project Charter.....	40
4.1.5	Toolgate 1.....	42
4.2	<i>MEASURE</i>	42
4.2.1	Requisitos do cliente.....	42
4.2.2	Requisitos de projeto (CTQs)	43
4.2.3	Medidas para avaliação do componente	44
4.3	<i>ANALYZE</i>	45
4.3.1	Composição da montagem e desdobramento dos custos	46
4.3.2	Análise de valor	48
4.3.2.1	Identificação das funções de valor.....	48
4.3.2.2	Correlação entre componentes, função e custos relativos	48
4.3.2.3	Cálculo do benefício relativo.....	49
4.3.2.4	Comparação entre custo relativo e benefício relativo	51
4.3.3	DFMA	52
4.3.4	Estimativa de <i>payback</i>	54
4.3.5	Toolgate 2.....	54
4.4	<i>DESIGN</i>	55
4.4.1	Toolgate 3.....	57
4.5	<i>VERIFY</i>	57
4.5.1	Planejamento macro.....	58
4.5.2	Alteração do ferramental	58
4.5.3	Tarefas de <i>Supply Chain</i>	59
4.6	SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO	60
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	62

5.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	62
	REFERÊNCIAS	64

1. INTRODUÇÃO

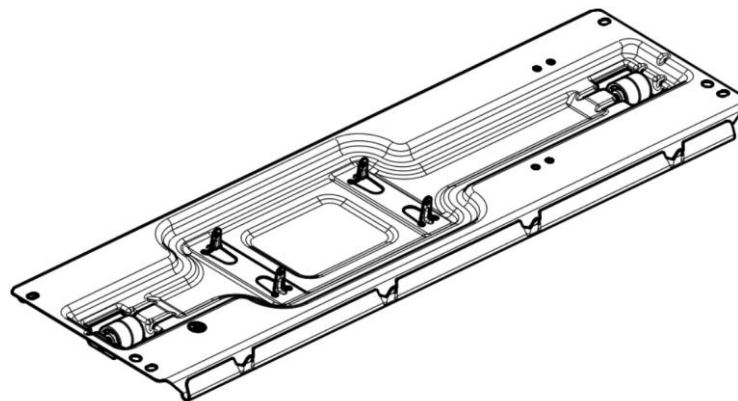
A empresa, da qual provém o cenário discutido nesse trabalho, é fabricante de eletrodomésticos e possui plantas ativas nas Américas, Europa e Oceania. Dentre os produtos projetados e fabricados por essa empresa, estão os refrigeradores domésticos.

Essa é uma categoria de produtos muito concorrida em todo o globo. Para manter-se competitiva, toda fabricante investe em pesquisa e desenvolvimento para busca constante de soluções mais eficientes. Um dos modos de se otimizar custos operacionais e manter/melhorar a qualidade de seus produtos é por meio de soluções padrões para novos projetos.

Se o engenheiro de desenvolvimento de produto já tem em mãos componentes especificados (com narrativas de matéria prima, geometrias definidas, ferramentas já definidas etc.) o tempo de desenvolvimento de um novo produto é consideravelmente simplificado. O mesmo pode-se dizer a respeito do projeto de ferramentas, maquinário, ajuste de linha, testes de qualidade e processo de homologação. Por consequência, a empresa passa a ter mais agilidade para responder a demandas de mercado. Dito isso, deve-se entender um pouco mais sobre a montagem do refrigerador.

Um refrigerador é dividido em 3 subgrupos: sistema de refrigeração (que contém o compressor, trocadores de calor e líquido refrigerante), o conjunto de portas e a montagem do gabinete. O centro dos estudos desse trabalho será uma travessa montada na parte traseira inferior do gabinete do refrigerador, mostrada na Figura 1.1.

Figura 1.1: ilustração de uma base do compressor.



A presente monografia tem o propósito de definir uma alternativa menos custosa ao conceito atual dessa travessa (usualmente chamada de base do compressor) utilizada em uma das plantas da empresa em questão por uso de uma análise crítica do estado presente.

Para tanto, serão avaliados os fatores que compõem o custo (matéria prima, montagem, fabricação, etc.) sobre a ótica dos ensinamentos da filosofia LSS (abreviação do termo em inglês "*Lean Six Sigma*") e será calculado a economia gerada em um ano com base em volumes de produção teórico.

1.1 PREMISSAS E PROBLEMA DE PESQUISA

Para alcançar o propósito desse trabalho é necessário avaliar desde a especificação da matéria prima, o design base do componente, o processo de fabricação, até o transporte até planta. Os processos de abastecimento de linha, montagem no produto e interfase com a montagem final não fazem parte do escopo desse projeto.

Por motivos legais, como se trata de um problema real, dados sensíveis ao negócio (como custos, investimentos) serão tratados como informações confidenciais e omitidos no texto. Para ilustrar os frutos desse estudo, esses dados serão substituídos por valores teóricos. Nomes de empresas, suas respectivas localizações, detalhes sobre processos de fabricação e detalhes sobre essa travessa metálica também serão tratados como informações sensíveis.

Para que o objetivo desse trabalho se concretize, existem algumas condições que devem ser atendidas. A partir daí, pode-se dizer que a peça proposta é fabricável no país em questão e que a migração para a essa nova condição gerará economia para a empresa. As premissas são:

- Existem fornecedores capazes que suprir a demanda da fábrica com a matéria prima sugerida;
- A demanda de chapas metálicas com especificação proposta no mercado analisado é suficiente para que o custo dessa matéria prima seja menor do que a atual. De forma que a substituição de uma matéria prima por outra gere redução de custo;

- Alteração da espessura da chapa não vai alterar o modo como a base do compressor fixada ao gabinete do produto;
- A parcela do custo da peça referente à matéria prima é significativa quando se avalia o custo total da mesma. Dessa forma, a redução de espessura (consequente redução de matéria prima) aliada ao volume de produção gere economia de capital;
- O *payback* dos investimentos necessários dever ser menor ou igual a 1 ano.

Algumas das condições descritas acima são definidas pelo mercado local, por negociações e estratégias do setor de compras. Por isso, estão além da zona de influência e atuação desse estudo. Outras dependem do aspecto físico da peça e de como ela performa quando submetida aos testes de validação e avaliação dos requisitos de homologação.

Dito isso, a pergunta a ser respondida ao longo do trabalho é: A redução de espessura e alteração de geometria na base do compressor gerará economia suficiente para justificar o investimento em ferramental e alterações do processo atual? Se não, o que mais pode ser feito?

1.2 OBJETIVOS

Nesse tópico será pontuado o objetivo macro desse projeto tão bem como o desdobramento desse objetivo em tarefas necessárias para tratar as especificidades do tema.

1.2.1 Objetivo Geral

Propor mudanças na base do compressor (desenho, fabricação e montagem) que resultem em redução de custo sem comprometer a vida útil do produto e/ou negligência com relação a expectativa dos clientes.

1.2.2 Objetivos Específicos

Matéria prima:

- Definir especificação da matéria prima com propósito de reduzir custo total do componente;
- Verificar possibilidade de migrar para especificação de aço utilizado em outras plantas com intuito de aumentar volume comercializado pela empresa e buscar padronização de matéria prima. Dessa forma, espera-se que as condições de negociação de preço/prazo de compra e desenvolvimento de outros fornecedores melhorem;
- Verificar condições de fornecimento (disponibilidade e custo).

Fabricação:

- Estudar impacto das mudanças propostas e custo para adequar ferramental;
- Estudar processo atual de fabricação com intuito de buscar otimizações (reduzir número de estágios com intensão de reduzir tempo de ciclo e custo de fabricação);
- Avaliar condições de montagem do conceito atual e comparar com conceitos aplicados em outras plantas.

Design:

- Avaliar quais mudanças no projeto da base do compressor são necessárias para homologação da peça proposta;
- Estabelecer dados de referência para comparação de conceitos (atual e proposto).

1.3 JUSTIFICATIVA

Assim como todas as empresas, a que detém o objeto de estudo desse trabalho tem como propósito fornecer ao consumidor produtos de qualidade para conquistar maiores fatias de mercado e ser financeiramente próspera. Em outras palavras, buscar máxima qualidade percebida com menor preço de fabricação.

Tomando um foco mais direcionado à realidade desse trabalho, entende-se que alternativas às soluções presentes que possibilitem baixar custos sem comprometer a qualidade do produto aos olhos do cliente final são motivadas e bem-vindas.

O componente em estudo é montado na parte de trás do produto e fica fora do campo de visão do cliente. Logo, trata-se de um componente sem função de acabamento e cuja função se limita a conferir ao produto rigidez durante o uso. Assim

sendo, ele deve ser robusto o suficiente para lidar com esforços rotineiros durante a vida útil do produto e que seja o mais barato possível. Dessa forma, a travessa continuaria contribuindo para a experiência do consumidor final com menor custo de fabricação.

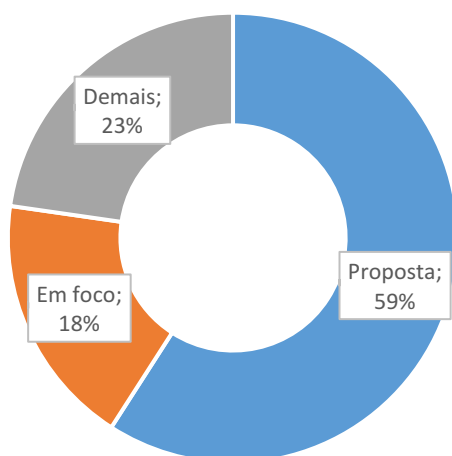
Entende-se que exista uma oportunidade de redução de custo desse componente porque, após análise dos conceitos já em utilização dentro da empresa, notou-se que na planta em questão o custo desse componente era maior que em outras plantas.

Analisando-se os desenhos de fabricação, revelou-se que a espessura do metal utilizado era diferente daqueles utilizados em demais localidades (10% mais espesso). Ademais, notou-se que o componente possuía geometria mais complexa que demais conceitos em uso. Logo, existe a possibilidade de estudar a necessidade do aço mais espesso e bem como da geometria mais complexa.

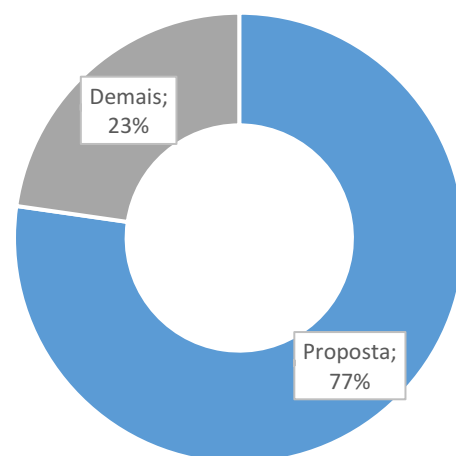
A primeira contribuição desse projeto, se provado viável, é a redução de custo gerada pela compra de menos matéria prima (redução estimada em 10% de massa) de uma peça cujo volume de fabricação anual é considerável. Desde que a mudança proposta não afete a estrutura do gabinete e, por consequência, a percepção do cliente ao produto.

Figura 1.2: Gráficos que mostram a quantidade percentual de *PN's* atualmente em produção agrupado em acordo com a espessura de aço carbono utilizada.

a) Cenário atual



b) Cenário objetivo

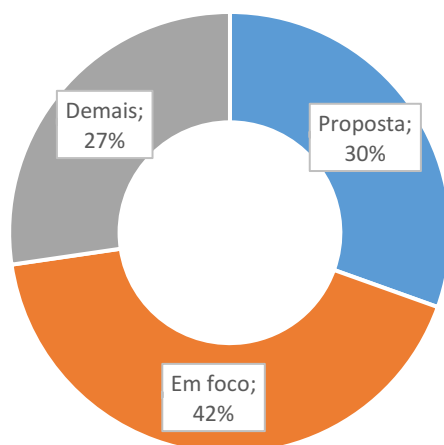


Uma segunda contribuição, seria tornar comum a especialização de metal mais utilizada em outras plantas. A adoção de uma única especificação de aço em diferentes países simplifica a tarefa de desenvolver uma nova versão do componente. Já que, uma vez que a matéria prima for testada e aprovada, essa deixa de ser uma variável em novos projetos e poupa tempo de desenvolvimento e teste. Se a meta desse projeto for atingida, a empresa estará mais próxima do objetivo de tornar padrão a especificação da matéria prima para bases de compressor em produtos de pequeno e médio porte.

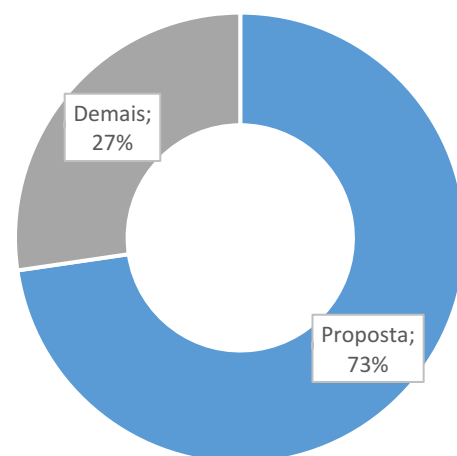
A Figura 1.2 Agrupa *part numbers* (PNs) que fazem uso da mesma matéria prima e ilustra qual seria o impacto nessa distribuição caso a proposta desse trabalho seja executada. O cenário (a) representa a situação atual em que 59% das peças em produção já fazem uso da matéria prima proposta e 18% usam a chapa metálica mais espessa. O cenário (b) ilustra o objetivo desse trabalho. A categoria intitulada “demais” refere-se a produtos de grande volume interno ou produtos já a muito tempo em produção e preste a sair do catálogo de produtos. Esses não farão parte do escopo desse estudo.

Figura 1.3: Gráficos que mostram a quantidade percentual de bases de compressor produzidas anualmente usando aço carbono com a espessura proposta, a espessura que será substituída e demais espessuras.

a) Cenário atual



b) Cenário objetivo

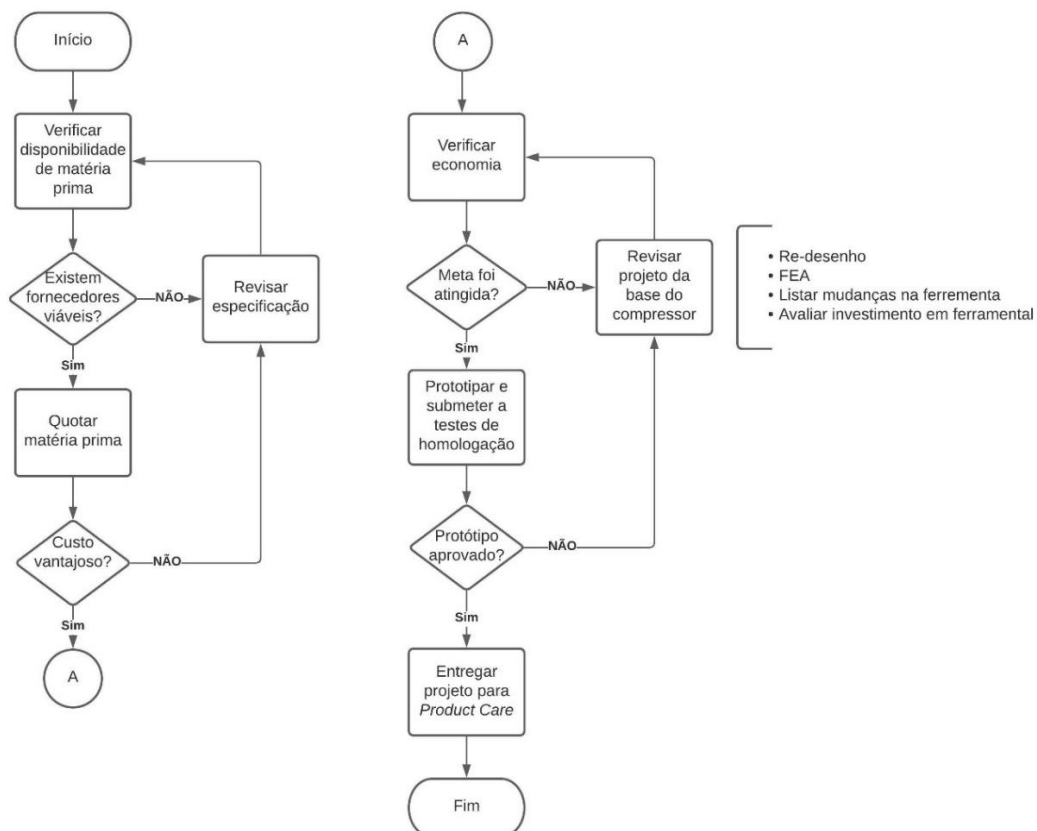


A terceira contribuição diz respeito à cadeia de fornecimento. Uma vez que uma fatia do aço consumido migrará para outra especificação já em uso na empresa, a quantidade de aço de uma mesma composição aumentará. Isso pode motivar o desenvolvimento de mais fornecedores com condições mais vantajosas para a empresa. A Figura 1.3 ilustra o percentual de bases de compressor que são produzidas anualmente usando a chapa metálica da espessura proposta, da espessura que se pretende substituir e demais espessuras. Como se nota, um percentual notável migrará para uma mesma especificação de aço. Isso representa um incremento considerável de volume de compra e um passo expressivo em direção à padronização.

1.4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O processo planejado para desenvolvimento desse estudo seguirá o fluxograma mostrado na Figura 1.4. Esses processos serão comentados a seguir.

Figura 1.4: Fluxograma com etapas do desenvolvimento do projeto



Fonte: o autor (2021).

Uma vez estabelecida a meta de redução de custo (6% do custo total da peça) tomando como base o tempo estimado de *payback*, a primeira tarefa a ser feita é buscar o custo da matéria prima proposta dentro do mercado estudado e condições de fornecimento. Com esses dados é possível avaliar com mais segurança qual será a economia gerada com a migração da matéria prima e se existe um fornecedor capaz. Se não houver economia ou fornecedores, deve-se revisar a especificação da mesma. A primeira proposta de especificação foi fruto de um *benchmark* das soluções disponíveis na companhia com o objetivo de estudar a especificação mais utilizada.

Com ganhos e capacidade de fornecimento confirmados, é possível avaliar se a simples mudança de matéria prima é suficiente para atingir o objetivo de redução de custo ou se é necessário revisar o projeto da base do compressor.

Essa seria uma análise simplificada somente com o propósito de estudar a viabilidade dessa proposta nesse primeiro momento. Caso o projeto seja aprovado pela diretoria e passe para a fase de execução, o setor de compras local terá obrigatoriamente que estudar se a matéria prima em questão também é utilizada por outros setores da economia (por exemplo setor de construção civil) para antever possíveis oscilações de custo e impacto no fornecimento gerados por variações na demanda.

Para buscar mais pontos de redução de custo na proposta de base do compressor, a revisão do conceito será guiada por DFMA e análise de valor. O componente revisado (com nova espessura, características físicas e geométricas) será validado via estudos de FEA (que significa *Finite Element Analysis* – em português: análise de elementos finitos) em condições que simulem as de esforços cotidianos.

Com o *design* da base do compressor concluído, deve-se fabricar protótipos para testes de homologação. Os requisitos de teste devem ser definidos e aqueles que forem específicos de outros países devem ser adicionados ao plano de ensaios. Se um dos objetivos é a busca por uma solução capaz se ser adotada em diferentes fábricas, é importante que o componente seja capaz de lidar com condições teste distintas.

Prototipagem e ensaios de validação seriam realizados na planta onde a travessa está em uso. No entanto, considerando a janela de tempo disponível para esse trabalho, não há tempo hábil para execução de testes físicos. Por isso, o conteúdo aqui apresentado se limitará a simulações computacionais.

Ao mesmo tempo que protótipos e parâmetros de ensaio são definidos, deve-se iniciar a cotação para fabricação de ferramentas novas considerando nova geometria e volumes de produção.

Com o conceito validado virtualmente e investimentos definidos, o próximo passo seria avaliar se a economia gerada é suficiente para compensar os investimentos numa janela de tempo considerada adequada (previamente definida como 1 ano).

Para realização de todas essas tarefas será necessária a participação de um representante de compras local, um engenheiro de desenvolvimento de produto, um representante do setor de desenvolvimento de materiais, membros da engenharia de manufatura e técnicos laboratoriais locais.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

A apresentação dessa monografia está organizada de forma a apresentar o tema a ser tratado e o embasamento teórico nos primeiros capítulos e a execução das tarefas e conclusões ao final. A partir do próximo capítulo, a estrutura deve ser da forma apresentada abaixo:

- Capítulo 2 apresentará o componente a ser melhorado, como ele é fixado ao gabinete e custos teóricos para referência. O propósito é detalhar os aspectos chave desse componente e ilustrar esforços que ele é submetido durante sua vida útil.
- Capítulo 3 tem o propósito de apresentar o referencial teórico que guiará parte das atividades que o estudo propõe. São metodologias que serão utilizadas com o propósito de pontuar características chave do componente, modos de falha e itens que agregam ou não valor à base do compressor. Os resultados dessas atividades devem fundamentar as mudanças propostas para o redesenho dessa peça.
- Capítulo 4 deve descrever as etapas listadas nesse capítulo para desenvolvimento dos trabalhos de reprojeto da base do compressor com objetivo de 6% de redução geral de custo.

- Capítulo 5 apresenta as conclusões do trabalho e lista os resultados de cada etapa. Além disso, pode apresentar também sugestões para trabalhos futuros e/ou desdobramentos do que foi executado.

2. TEMA E ÁREA DE APLICAÇÃO

Nesse capítulo será apresentada a peça, objeto do estudo proposto por esta monografia. O objetivo é explorar sua função, onde é montado ao gabinete e qual é seu papel na montagem do refrigerador. De forma a contextualizar a proposta desse estudo.

2.1 BASE DO COMPRESSOR

À primeira vista, trata-se de um componente simples e de pouca complexidade (Figura 2.1). Ele não é um componente visível, é estático e muito raramente requer algum tipo de manutenção. Por isso, não é simples buscar aspectos que diferenciem um conceito de outro e, por consequência, buscar ganhos via reprojeto da peça em si. Para pontuar a linha de pensamento que motivou o início desse trabalho, é interessante revisitar os aspectos que compõem essa peça e, por fim, compor o plano de ação.

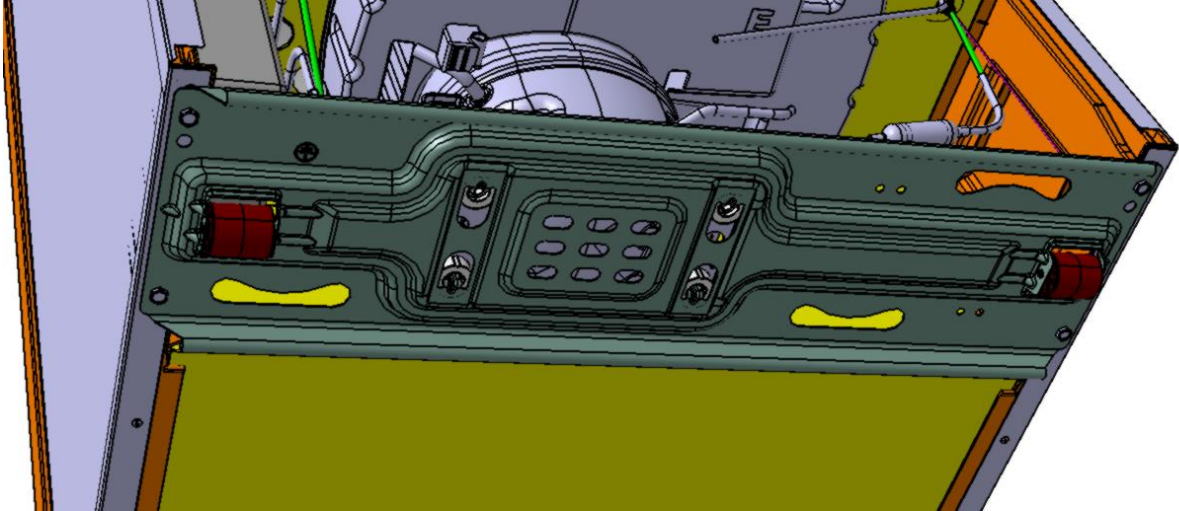
Figura 2.1: Bases de compressor utilizadas em uma fábrica de refrigeradores da Argentina.



Fonte: o autor (2021).

A base do compressor é, em essência, uma travessa fixada na base traseira do gabinete do produto (Figura 2.2) que serve de ponto de fixação para elementos dos sistemas elétricos e de refrigeração.

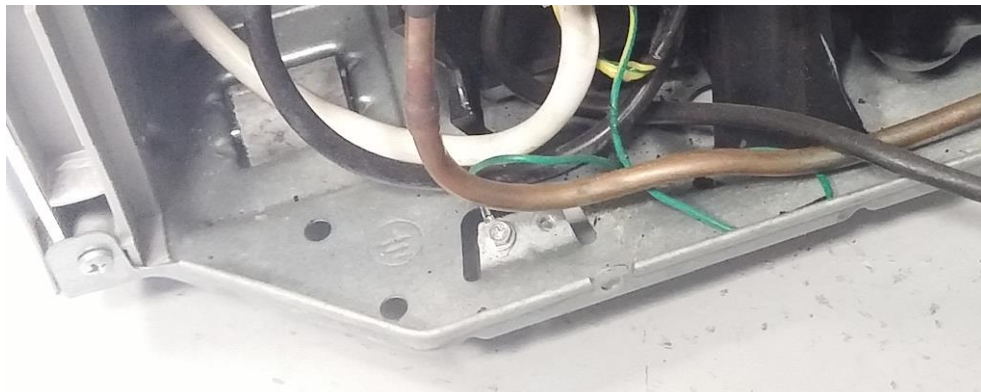
Figura 2.2: Fixação da base do compressor ao gabinete do refrigerador.



Fonte: o autor (2021).

Ela é fabricada a partir de uma metálica conformada e tem como funções básicas fixar o compressor; ser um elemento estrutural na parte de trás do gabinete; em geral, também tem função de ser o elemento de interfase entre o gabinete e o solo; dependendo o projeto em questão e do local onde o produto é comercializado, pode ter função de aterramento elétrico (Figura 2.3); pode ter a função de ser ponto de montagem para elementos como a calha de evaporação e a caixa da placa de potência (Figura 2.4).

Figura 2.3: Fotografia de um produto comercializado no Brasil com ponto de aterramento do compressor na base do compressor.



Fonte: o autor (2021).

A questão do aterramento depende de questões normativas vigentes em cada país. Em alguns casos, dependendo da condição do cabeamento do produto e da disponibilidade de aterramento apropriado no local em que o refrigerador será instalado, essa conexão pode ser desnecessária.

Figura 2.4: Fotografia de um produto comercializado no Brasil com calha de evaporação (elemento plástico de cor cinza à direita) fixada à base do compressor.



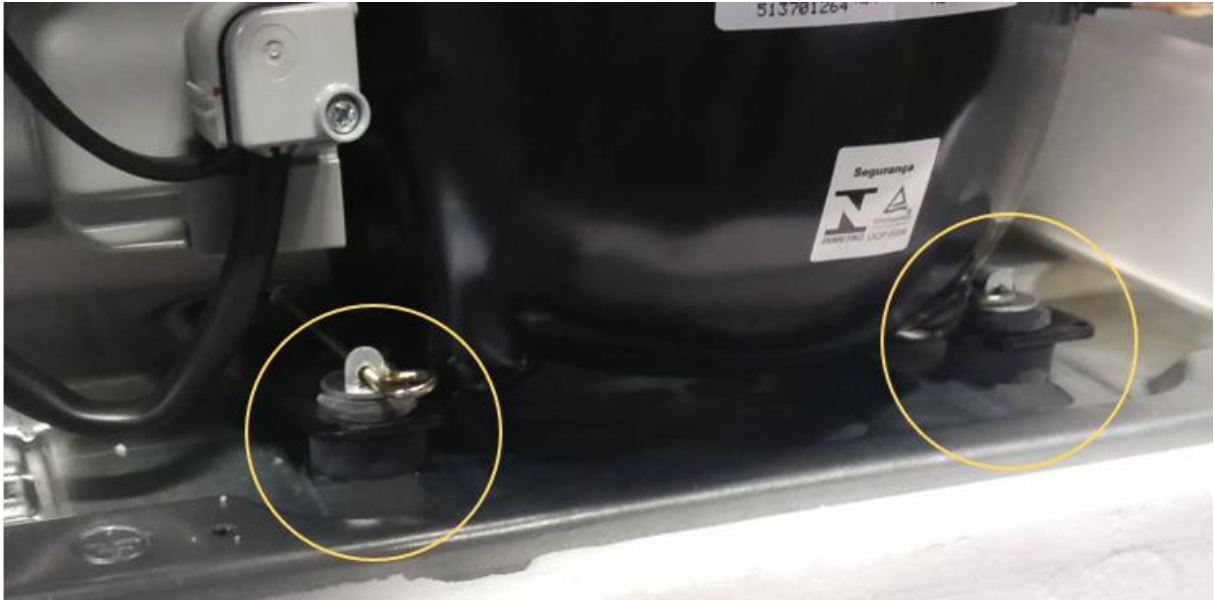
Fonte: o autor (2021).

Dadas as funções descritas acima, se entende que esse componente estará sujeito a vibração e variação de temperatura (gerados pelo funcionamento do compressor) e a umidade (gerada pela evaporação que acontece na calha de evaporação). Logo se nota que 2 problemas que podem surgir até esse ponto da discussão:

1. Ruído gerado na interface dos componentes montados à base do compressor causado pela vibração do compressor;
2. Oxidação causada pela alta umidade na região do compressor.

Para minimizar a vibração, usa-se um elemento elástico na interface entre a base do compressor e a fonte da vibração para amortecer o movimento vibratório (Figura 2.5). Essa solução funciona bem desde que não haja folga entre esses elementos de fixação.

Figura 2.5: Fotografia de compressor montado sobre buchas poliméricas à base do compressor.



Fonte: o autor (2021).

Sobre a oxidação, o problema é tratado via utilização de uma camada protetiva de zinco sobre a base de aço carbono. Essa camada é especificada em gramas por metro quadrado e varia de país para país. Essa variação é justificada por causa de diferentes normativas de teste e grau de impacto do custo da matéria prima.

Falhas nessa camada de proteção advêm de: riscos (que mecanicamente removem parte da camada de zinco) gerados do atrito entre molde e peça; riscos gerados durante manuseio; falha na deposição de zinco no processo de zincagem.

Outro item da especificação da peça que varia entre diferentes plantas é a espessura da chapa de aço carbono. A justificativa para a adoção de espessuras diferentes geralmente é recai sobre a necessidade de determinada rigidez para aprovação em testes mecânicos.

Em caso de refrigeradores maiores, é claro que o peso do próprio produto e a carga que deve suportar é maior (quando comparado a produtos de pequeno e médio porte) e, de fato, existem problemas com a rigidez do gabinete caso a base do compressor for muito fina. No entanto, esses produtos maiores não estão incluídos na análise desse trabalho.

Em se tratando dos produtos menores (que são impactados pela proposta dessa dissertação), em conversas com projetistas de diferentes plantas, nota-se que

por vezes a especificação da matéria prima é passada de um projeto anterior a outro projeto novo. Isso é, geralmente, devido a restrições de tempo durante desenvolvimento de novos produtos. Se a especificação corrente funciona, o tempo para homologação de uma especificação nova é considerável e a mudança certamente carregará consigo certo risco, não há motivações suficientes para investir em uma investigação.

Dessa forma, entende-se que o presente projeto é uma oportunidade para visitar definições e questionar diferenças entre parâmetros de testes, espessuras e geometrias.

2.2 FABRICAÇÃO

A base do compressor é fabricada por estampagem via ferramentas de conformação em estágios ou progressiva. A definição de qual desses processos deve ser utilizado tem influência sobre o tempo de ciclo e manutenção do ferramental. O que significa que essa decisão impacta no custo da peça.

A adoção de um ou outro método de conformação muda dependendo da disponibilidade de recursos onde a peça é fabricada (como disponibilidade de prensas grandes, ou prensas posicionadas em sequência, ou capital disponível para investimento) e da complexidade das geometrias que compõem a peça.

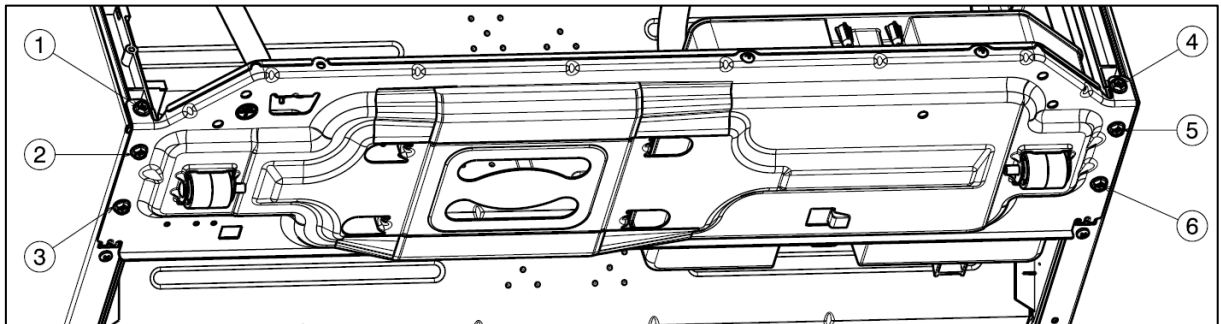
A decisão de padronizar o desenho de uma base do compressor (fixar tanto a geometria quanto a especificação da matéria prima) pode fomentar a iniciativa para padronização da ferramenta e, por consequência, o modo de fabricação. O que simplificaria o cronograma do setor de engenharia de manufatura em novos produtos. Contudo, deve-se manter em mente que isso pode ter um impacto durante o processo de escolha e desenvolvimento de fornecedores (pelo menos num primeiro momento).

Parte importante do custo da base do compressor é gerada por necessidade de operações extras além do processo de estampagem (que envolvam manuseios de peças e sub montagens) e item comprados (como rodícios). O impacto desse fator no custo total varia consideravelmente devido ao custo da hora homem (a mão de obra em países como EUA e da UE é mais cara do que a do Brasil ou países da Asia).

2.3 FIXAÇÃO AO GABINETE E ESFORÇOS ATUANTES

O modo como a base do compressor é fixada ao gabinete também muda em acordo com planta. Em sua maioria, os conceitos em produção são fixados por 6 parafusos sendo eles distribuídos da seguinte forma: 4 na parte de baixo e 2 na parte traseira do gabinete (vide Figura 2.6).

Figura 2.6: Disposição dos parafusos que fixam a base do compressor.



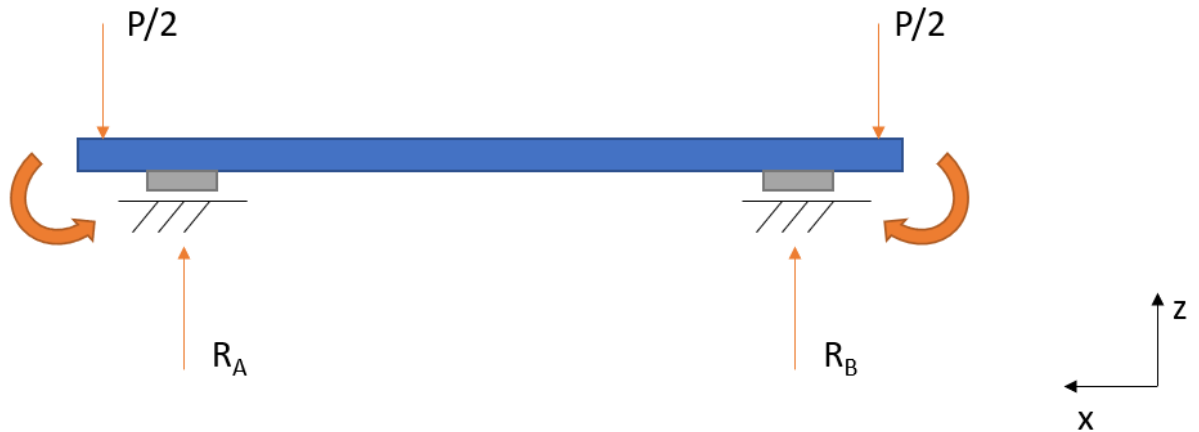
Fonte: o autor (2021).

A primeira função desses parafusos é integrar a base do compressor, montagem do piso do produto e os painéis laterais externos. Quanto mais coesa é essa montagem, melhor será a rigidez do gabinete. E quanto maior a rigidez, menor é a torção do gabinete.

A torção do gabinete é um fenômeno que acontece por causa de desníveis do solo – o que gera forças de reação diferentes em cada um dos 4 pontos de apoio do produto com o chão e, por consequência, geram deformação do gabinete – ou por ação do peso das portas quando são abertas. Uma vez que o ponto de giro das portas é sempre próximo à uma das laterais, quando uma das portas é aberta, o peso da mesma “puxa” a lateral para frente, enquanto o peso do produto mantém o restante dele em contato com o chão. Gerando assim um movimento de torção. Se a base estiver bem integrada ao restante da montagem, ela age como um elemento estrutural que reage a essas forças e contribui para minimizar deformação do gabinete.

Os 2 parafusos fixados na parte de trás tem função de minimizar a flexão da base do compressor causada pelo peso do produto (estado ilustrado na Figura 2.7). De certa forma, eles também conferem certo paralelismo à peças do piso.

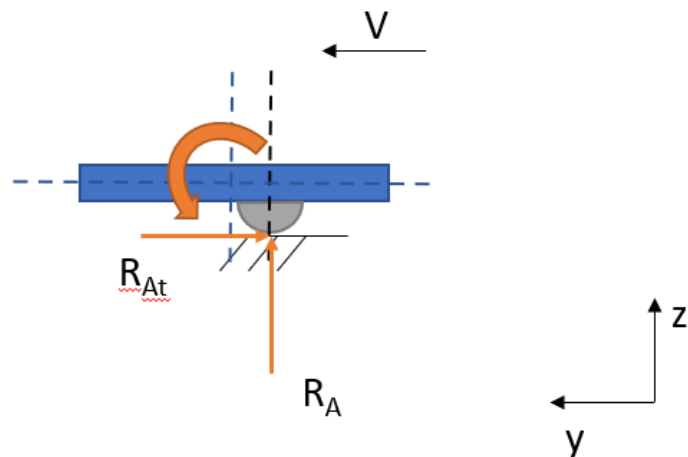
Figura 2.7: Flexão causada pelo peso do produto (P) atuando nas extremidades da base do compressor combinado com as reações do solo (R_A e R_B).



Fonte: o autor (2021).

Os 4 parafusos fixados na parte de baixo do gabinete garantem que a peça não se deforme em situações em que o usuário arraste ou mova o produto carregado como o ilustrado na Figura 2.8.

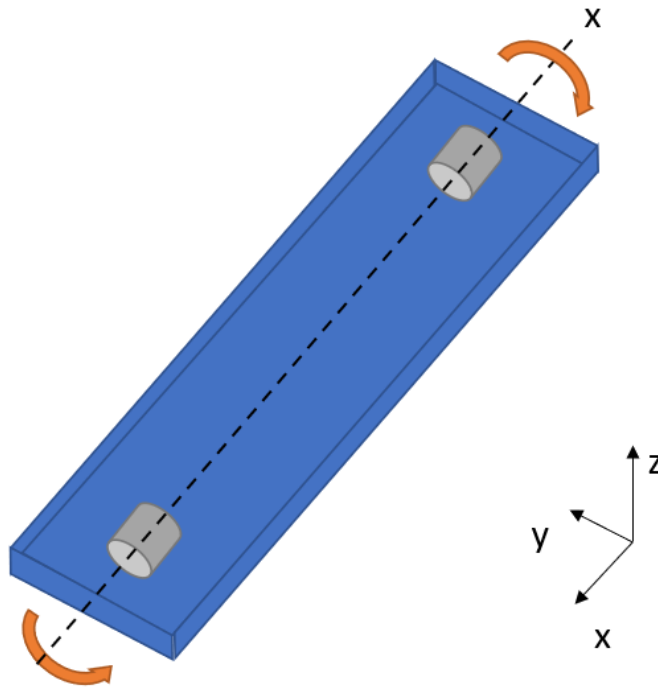
Figura 2.8: Momento gerado por resistência a rolagem do rolo (R_{At}) gerada pelo movimento de velocidade V e reação do solo (R_A).



Fonte: o autor (2021).

Eles também contribuem para que as laterais do gabinete estejam paralelas entre si e, como já comentado, para que o gabinete não se torça (Figura 2.9).

Figura 2.9: Torção ao redor do eixo “x” gerada pelo gabinete quando uma das portas do refrigerador carregada é aberta.



Fonte: o autor (2021).

2.4 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Nesse capítulo foi apresentado um descritivo mais detalhado sobre o componente foco de estudos desse trabalho. Foi descrito também como ele é fabricado e que aspectos de seu design diferencia um conceito de outro.

O conhecimento sobre esses fatores facilita o entendimento das ações que serão estudadas para redução de custo e também contextualiza os temas a serem estudados no decorrer da monografia. Também ajuda ao leitor a entender as consequências dessas ações no desempenho estrutural da peça no refrigerador, bem como o impacto delas nos trabalhos de profissionais do setor de compras, engenharia de manufatura e de desenvolvimento de produto.

Também serve ao propósito ajudar a entender como as ações serão priorizadas. Tudo aquilo que acrescenta complexidade à solução e promove pouco benefício estará fora do escopo dessa monografia.

No próximo capítulo serão abordados os conhecimentos teóricos que suportam as tomadas de decisões a serem apresentadas no capítulo 4 levando em consideração as limitações e riscos pontuados no capítulo 2.

Os detalhes sobre cada um dos aspectos listados a pouco alimentarão as análises de valores e o DFMA a serem descritos no capítulo 3.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

As ações que possibilitarão alcançar o objetivo final desse trabalho serão justificadas pela aplicação de uma série de ferramentas desenvolvidas no contexto da filosofia LSS. Essas ferramentas, tão bem quanto a filosofia em si, serão apresentadas nos subtópicos a seguir.

3.1 LEAN SIX SIGMA

Essa filosofia é muito valorizada nas organizações por sua contribuição no resultado financeiro uma vez adotada e implementada. Para entender o princípio fundamental dela, é interessante entender a definição dos termos que compõe seu nome.

A definição da filosofia *Six Sigma* varia um pouco dependendo da fonte literária. A definição usada na primeira edição do livro “*Certified Six Sigma Black Belt Handbook*” diz que se trata de um modo de agir baseado em fatos e dados com foco em evitar erros e redução de variações no processo e desperdício (KUBIAK, 2009).

O “*Lean*” é um modo de pensar cujo propósito fundamental é eliminar desperdícios. Quando analisado sobre o ponto de vista de engenharia de manufatura (*Lean manufacturing*), refere-se ao esforço para aumentar a precisão e velocidade de processos. Numa visão mais ampla, seria otimização de processos com foco em eliminar elementos que gerem custos para a empresa e não contribuem para o atingimento da expectativa do cliente (KUBIAK, 2009).

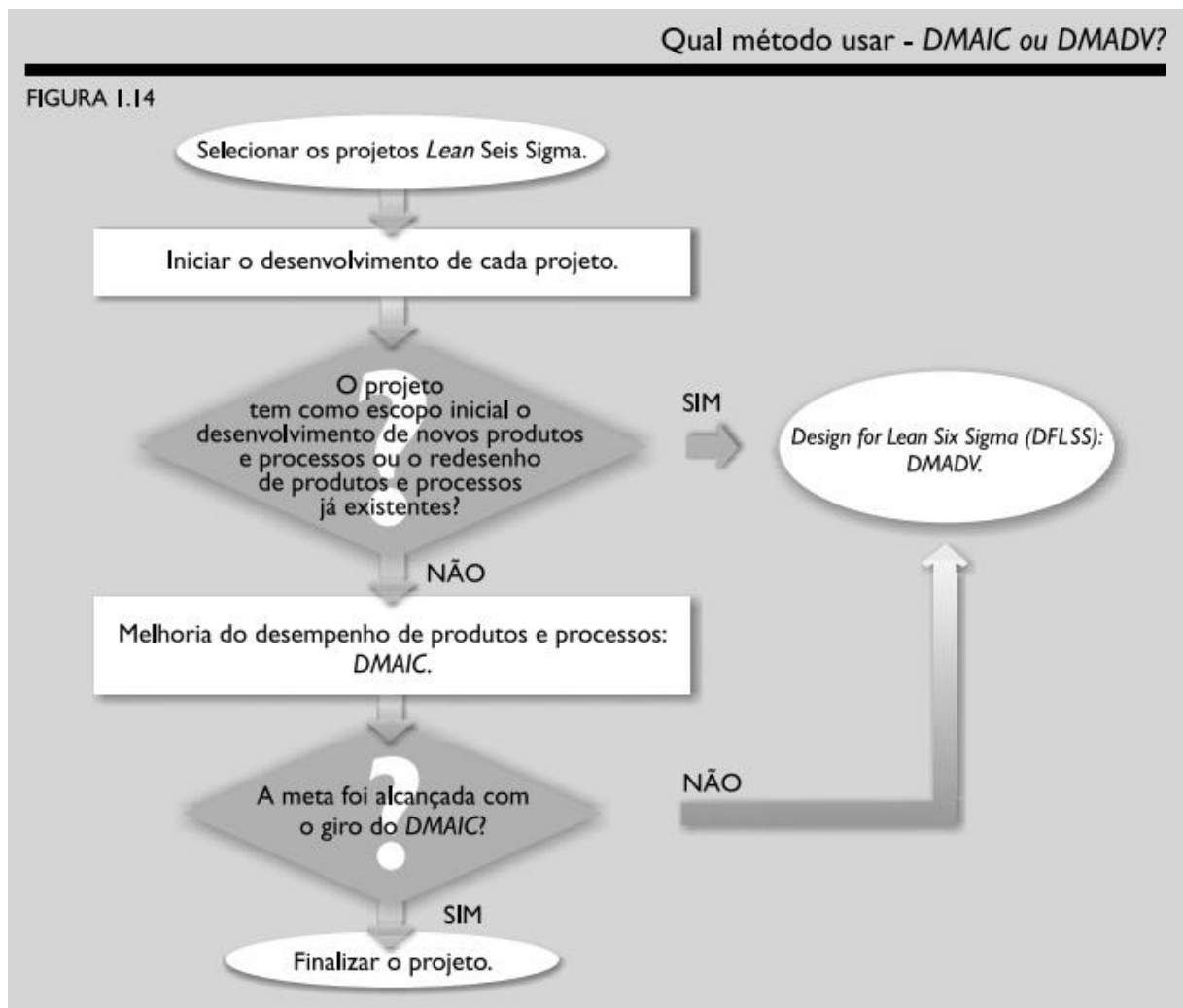
Ao final, as definições de “*Lean*” e “*Six Sigma*” se complementam no propósito comum de gerar produtos com menor custo e máxima qualidade percebida. Por isso, costuma-se empregar essas filosofias em conjunto.

Dentro desse contexto, existe o termo “*Design for Six Sigma*” (DFSS), que se refere ao exercício dos fundamentos do *Six Sigma* durante o processo de desenvolvimento de novos produtos. Quando utilizado em conjunto com os conceitos que compõem o *Lean Manufacturing*, o processo passa a ser referenciado como *Design for Lean Six Sigma* (DFLSS) (WERKEMA, 2012).

Em acordo com Werkema, existe uma estrutura básica que define as etapas para aplicação do LSS. Na Figura 3.1, a autora expõe em forma de fluxograma uma análise básica para a escolha da estrutura que melhor se adequa à cada projeto.

O termo DMAIC é a abreviação dos termos em inglês “*define, measure, analise, improve, control*” e se encaixa no contexto de um ciclo de melhoria continua. No entanto, quando estamos falando em DFLSS, faz-se referência ao termo DMADV. Que, por sua vez, é a abreviação das palavras “*define, measure, analise, design, verify*”.

Figura 3.1: Fluxograma proposto para decisão sobre método de implementação a ser adotado.



Fonte: WERKEMA (2012).

Uma vez que a proposta inicial desse projeto prevê possíveis mudanças de matéria prima, design e processo de fabricação, julga-se condizente a adoção da estrutura de projetos DMADV. Isso posto, a forma como o trabalho transcorrerá está descrito na Figura 3.2. As ações que contemplam cada etapa estão descritas a seguir.

Figura 3.2: Descrição das etapas do DMADV com os respectivos objetivos e resultados esperados.

Descrição das atividades do DMADV		
FIGURA I.5		
	Objetivo	Principais resultados esperados
Etapa do DMADV	Define Definir claramente o novo produto ou processo a ser projetado.	<ul style="list-style-type: none"> • Justificativa para o desenvolvimento do projeto. • Potencial de mercado para o novo produto. • Análise preliminar da viabilidade técnica. • Análise preliminar da viabilidade econômica. • Previsão da data de conclusão do projeto. • Estimativa dos recursos necessários.
	Measure Identificar as necessidades dos clientes/consumidores e traduzi-las em Características Críticas para a Qualidade (CTQs) - mensuráveis e priorizadas - do produto.	<ul style="list-style-type: none"> • Identificação e priorização das necessidades dos clientes/consumidores. • Análise detalhada do mercado. • Características críticas do produto para o atendimento às necessidades dos clientes/consumidores.
	Analyze Selecionar o melhor conceito dentre as alternativas desenvolvidas e gerar o <i>Design Charter</i> do projeto.	<ul style="list-style-type: none"> • Definição das principais funções a serem projetadas para o atendimento às necessidades dos clientes/consumidores. • Avaliação técnica dos diferentes conceitos disponíveis e seleção do melhor. • Análise financeira detalhada do projeto.
	Design Desenvolver o projeto detalhado (protótipo), realizar os testes necessários e preparar para a produção em pequena e em larga escala.	<ul style="list-style-type: none"> • Desenvolvimento físico do produto e realização de testes. • Análise do mercado e <i>feedback</i> de clientes/consumidores sobre os protótipos avaliados. • Planejamento da produção. • Planejamento do lançamento no mercado. • Análise financeira atualizada do projeto.
	Verify Testar e validar a viabilidade do projeto e lançar o novo produto no mercado.	<ul style="list-style-type: none"> • Lançamento do produto no mercado. • Avaliação da performance do projeto.

Fonte: WERKEMA (2012)

Dependendo da fonte bibliográfica, atividades específicas de cada uma das etapas podem variar um pouco (exemplo: Werkema (2012) sugere criar o *Project Charter* na fase *Analyze*, enquanto Staudter (2009) sugere fazê-lo já na fase *Define*). No entanto, o objetivo macro das fases se mantêm iguais.

No contexto desse trabalho, as atividades transcorrerão da seguinte forma:

- *Define*:
 - Definir o escopo de trabalho com base nos recursos disponíveis;
 - Avaliar viabilidade do projeto.

- *Measure*
 - Definir requisitos do cliente e de projeto;
 - Definir os parâmetros a serem medidos para controlar o grau de atingimento desses quesitos.
- *Analyze*
 - Analisar e eleger melhor opção;
 - Estimar investimento, ganhos e tempo de *payback*.
- *Design*
 - Desenvolver conceito eleito;
 - Confirmar investimento, ganhos e tempo de *payback*.
- *Verify*
 - Planejamento para implementação;

Duas ferramentas importantes que serão usadas na fase *Analyze* para definir as mudanças propostas são:

- Análise de valor
- DFMA

O propósito e aplicação dessas ferramentas serão descritos nos tópicos a seguir.

3.2 ANÁLISE DE VALOR

Análise de valor é, na verdade, uma das ferramentas que compõem a engenharia de custo. Essa é, em suma, a prática de se desenvolver produtos mantendo como uma das considerações para projeto um custo alvo. Cada uma das ferramentas contidas na engenharia de custo tem como foco uma das componentes que, quando somadas, geram o custo final do produto (DOMANSKI, 2020).

Historicamente, a motivação inicial para desenvolvimento da engenharia de valor (EV) e análise de valor (AV) seria a escassez de matéria prima por causa dos esforços do governo norte americano durante a Segunda Guerra Mundial. Nesse contexto, em 1947 a General Electric encarregou o engenheiro Lawrence D. Miles de trabalhar com o departamento de compras na tarefa de encontrar alternativas para

manter o volume de produção e padrão de qualidade. Foi então, que ele trouxe a vida a técnica de AV (YOUNKER, 2003).

A título de esclarecimento, o que difere EV de AV é que, por definição, EV é o exercício da técnica de otimização de custos durante a fase de desenvolvimento de um produto. Enquanto AV é executada depois do lançamento ao mercado (DOMANSKI, 2020).

De qualquer forma, o propósito dessas técnicas é melhorar o valor de um produto ou serviço aos olhos do consumidor. Por “valor” entenda-se como o quanto um potencial cliente estaria disposto a pagar baseado na expectativa de benefício que o produto ou serviço o propiciará. Em suma, seria a relação benefício (ou função) sobre custo (USIRONO, 2015).

$$Valor = \frac{Benefício\ de\ cada\ função}{Custo\ de\ cada\ função}$$

Dessa forma, conclui-se que para aumentar o valor deve-se maximizar o benefício (capacidade da solução em atender expectativas dos clientes) e minimizar o custo.

Portanto, EV/AV é a análise detalhada de um conceito de produto/serviço com o propósito de garantir que o mesmo seja capaz de executar funções básicas com o menor custo total e de forma a atingir características essenciais atribuídas por seu público-alvo (YOUNKER, 2003).

Na prática, esse exercício começa com uma geração de ideias para redução de custo para um produto em desenvolvimento ou já em produção. A geração de ideias pode ser suportada por técnicas como TRIZ ou benchmarking. Em seguida, se identificam as funções que o produto deve performar, atribui-se os custos relativos a cada uma delas (custos que seriam referentes aos componentes físicos que possibilitam a execução de cada função) e se propõe alternativas capazes igualar ou superar a performance das soluções atuais ao mesmo tempo que diminui o custo total do produto final (DOMANSKI, 2020).

Usirono (2015) propõe uma abordagem mais quantitativa, de forma a buscar uma avaliação numérica das oportunidades. O custo é uma medida quantitativa e, por isso, relativamente simples de se definir. Já o benefício é algo qualitativo e não tão simples de ser definido por um valor numérico.

Para análise da função valor (benefício dividido pelo custo), Usirono (2015) propõe que sejam utilizados os valores percentuais relativos aos benefícios sobre os custos de cada componente avaliado. Para definição das porcentagens relativas a cada benefício de um produto/serviços, lista-se os benefícios esperados (funções do produto ou serviço) e atribui-se a cada um o valor percentual referente à sua contribuição para atingimento da expectativa do cliente.

$$Valor = \frac{\% \text{ do benefício}}{\% \text{ do custo}}$$

O resultado dessa divisão guiará as atividades do avaliador de forma a apontar que benefícios podem ser maximizados ou que componentes podem ser redesenhados para redução de custo.

O ideal é que o valor buscado seja maior que 1. Isso significa que o benefício relativo de um componente é maior do que seu custo relativo.

3.3 DFMA

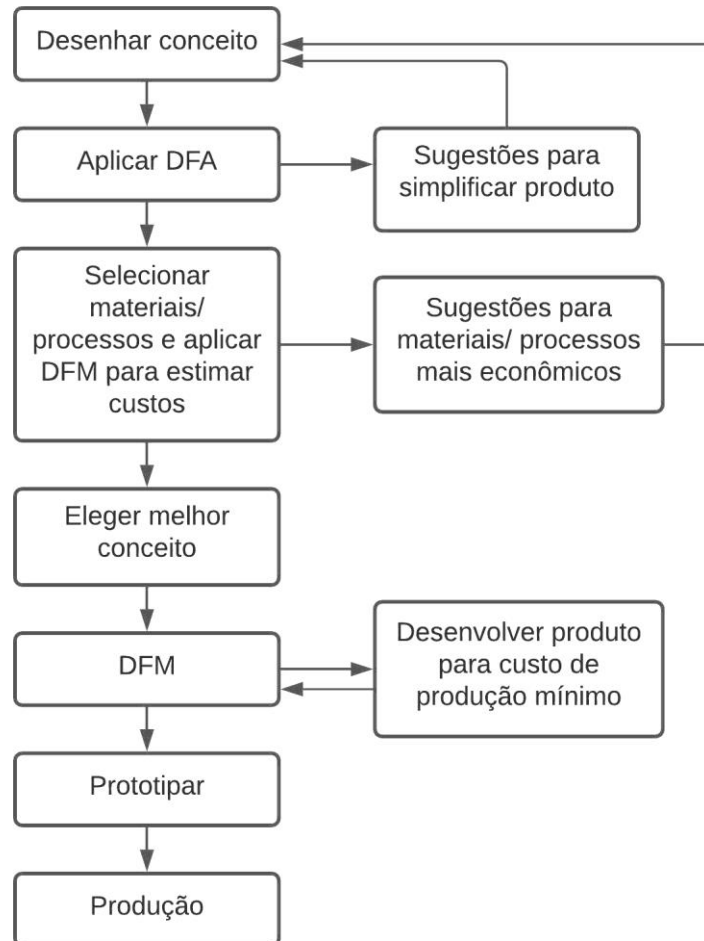
DFMA (*Design for Manufacturing and Assembly*) é a combinação de duas metodologias cujo propósito é maximizar eficiência de recursos durante o ciclo de vida de produtos. DFM (*Design for Manufacturing* ou ainda *Design for Manufacturability*) diz respeito ao projeto com foco em otimizar o processo de fabricação de componentes que formarão o produto. Já DFA (*design for Assembly*) dá prioridade à fatores relacionados à facilidade de montagem desses componentes (BOOTHROYD, DEWHURST e KNIGHT, 2011).

Se nota que, a depender da fonte bibliográfica, a aplicação do conceito de DFM, no sentido mais amplo do termo, por vezes engloba a aplicação de DFA. Todos os livros utilizados para essa pesquisa tinham como tema central DFM e tinham um capítulo dedicado para DFA. Para ilustrar esse ponto, abaixo está a Figura 3.3 que mostra o processo de aplicação da DFMA segundo Boothroyd (2011).

Definindo o tema nesse contexto mais amplo, Anderson (2020) define DFM como um processo de desenvolvimento de produto para (1) otimizar recursos de manufatura, (2) garantir melhor qualidade, menor custo, atendimento a normas,

segurança, menor tempo de implementação e satisfação do cliente, e (3) garantir que limitações de recursos de manufatura não comprometerão as metas acima.

Figura 3.3: Fluxograma de aplicação de DFMA em desenvolvimento de produtos.



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

Ao contrário do que possa parecer, conforme as fábricas evoluem e as máquinas ficam mais sofisticadas, maior é a demanda para uso de DFM. Automação gera uma série de restrições no projeto que ficam evidentes com DFM. Portanto, conclui-se que o projeto determina a capacidade do produto de ser manufaturado da forma como se planeja fazê-lo (BAKERJIAN, 1992).

O uso dos princípios do DFMA não é novo. Desde que surgiram os meios de produção, se nota a importância de se desenhar um produto respeitando os recursos disponíveis para produção e de projetar peças que cumpram com o papel desejado sem torná-las demasiadamente especificadas (caras). Mas os termos/ nomenclaturas,

o reconhecimento de sua importância e a organização da metodologia são processos recentes (BRALLA, 1986).

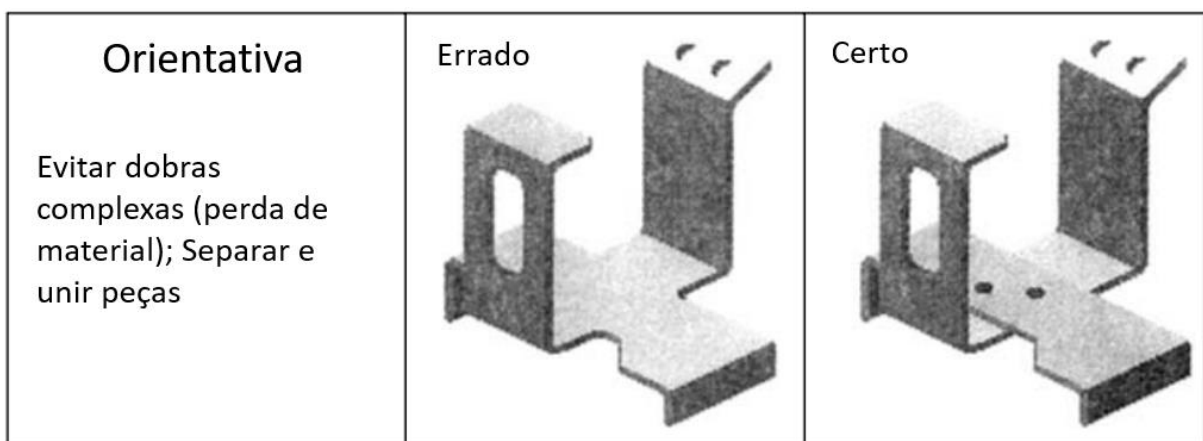
No começo com século IX, Eli Whitney já trabalhava em ajustes de desenhos e tolerâncias para tornar peças de rifles comprados pelo governo americano intercambiáveis. Na virada do século XX, Henry Ford já estabelecia como premissa para projeto de seus carros a simplicidade de peças, facilidade de montagem e manutenção, e comunização de peças entre modelos (BRALLA, 1986).

Os termos “*productivity*” (produtividade) e “*manufacturability*” (que equivale à “capacidade de fabricação”) surgiram nos anos de 1960 que eram usados para indicar o quão facilmente uma peça ou produto pode ser fabricado. Nessa mesma época, um conjunto de regras chamado “*Manufacturing Producibility Handbook*” foi criado para utilização interna da General Electric (BRALLA, 1986).

O desenvolvimento do DFMA, como metodologia, começou nos anos de 1970 em uma pesquisa focada em montagens automatizadas. O objetivo da pesquisa era suprir engenheiros de produtos com método analítico que serviria como guia para desenvolvimento de produto com montagem simples e com componentes fáceis de fabricar (inferindo alta produtividade) (BOOTHROYD, DEWHURST e KNIGHT, 2011).

No entanto, estudiosos logo notaram um conflito de ideais assim que essa pesquisa se tornou pública. Estudos da década de 60 indicavam que peças de geometria simples eram a melhor forma de poupar capital. Porque elas eram mais fáceis e rápidas de se fabricar, e, por consequência, mais baratas (vide Figura 3.4).

Figura 3.4: Orientativa do livro Engineering Design de 1984. Peça “Errado” custava aproximadamente USD 0,678. Peça “Certo” custava aproximadamente USD 1,050.



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

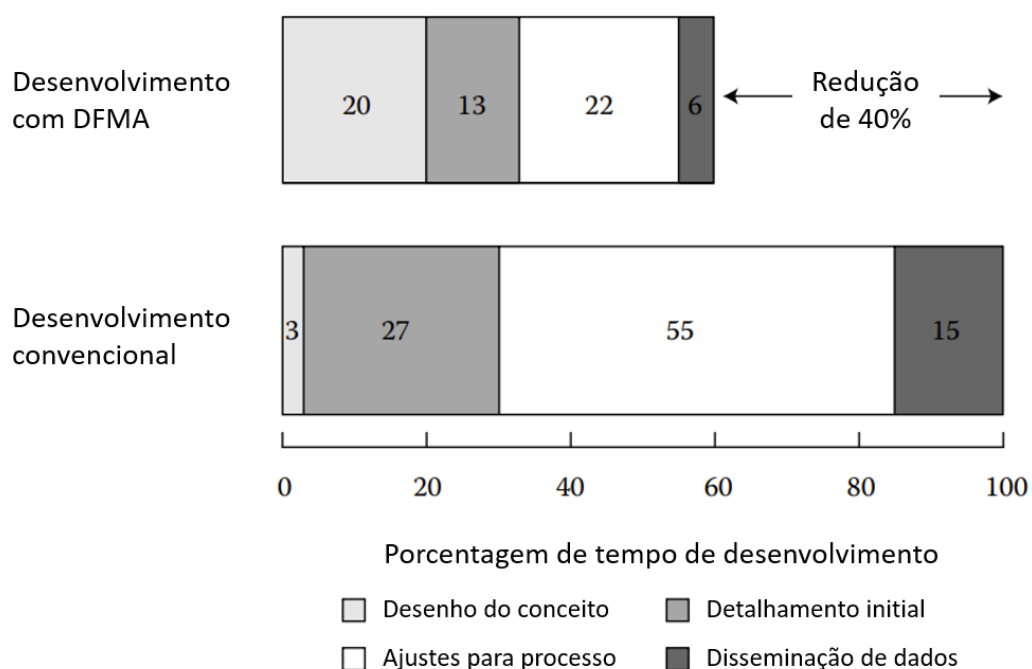
Com aplicação prática desses princípios, se provou que a redução no número total de partes por uso de DFA em um produto (mesmo que esse exercício gere peças com geometrias mais complexas) resulta em redução significativa de custos de montagem e, por vezes, redução no custo total de peças. O que, geralmente, se mostrou mais benéfico que a simplicidade de peças por si só (BOOTHROYD, DEWHURST e KNIGHT, 2011).

No tocante à importância da aplicação do método, com o avanço da indústria e aumento da concorrência, também aumentou a necessidade da utilização do DFMA durante novos desenvolvimentos. Não só por questões de compatibilidade entre conceito de produto e linha de montagem, mas também por questões de redução de tempo necessário para lançamento de produtos novos.

Justamente por levar condições de manufatura em consideração durante desenvolvimento, a transição da fase conceitual para a produção no chão de fábrica é mais sutil. Como os produtos desenhados respeitam os processos de produção em uso, ele tende a entrar em comercialização mais rapidamente (BAKERJIAN, 1992).

Na Figura 3.5, Boothroyd (2011) ilustra como o tempo de desenvolvimento é distribuído pelos estágios de novos projetos com e sem aplicação de DFMA.

Figura 3.5: Comparativo de distribuição do tempo aplicado a estágios de projeto com e sem uso de DFMA.



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

Um outro pilar para melhoria de tempo de resposta da indústria à uma demanda de mercado é a padronização de peças. Usar peças e matérias primas padrões diminuem esforços durante o desenvolvimento de produto, propicia diminuição de custos, diminuem necessidade de mão de obra para manuseio desses itens, simplificam o gerenciamento da cadeia de suprimentos, melhora condições de disponibilidade e de entrega de material, permite aumento da qualidade e facilidade de manutenção (ANDERSON, 2020).

Por não ter que “reinventar a roda”, o estabelecimento de geometrias, matérias primas, componentes e módulos padrões, ajuda a diminuir a demanda de engenharia de desenvolvimento nesses assuntos. Isso possibilita redução de custo de desenvolvimento e tempo de trabalho. Além disso, permite que a gestão mantenha esforços focados em sementar eficiência de soluções e busque meios de diminuir ainda mais o tempo de reação a demandas de mercado (BAKERJIAN, 1992).

Padronização também reduz carga de trabalho do setor de compras e permite que haja maior interação e participação desse setor durante o desenvolvimento de produtos. O que, por sua vez, torna mais propício trazer fornecedores mais próximos formação de parcerias (ANDERSON, 2020).

Ademais, ter peças comunizadas entre vários produtos é uma boa prática que pode ajudar em manter a fábrica abastecida e evitar falta de peças. Peças comuns também podem ajudar em negociações para compra de matéria de prima, em especial aquelas mais especificadas, se for em maior quantidade. Volume de compra pode gerar redução de custo em especial em peças mais especificadas (ANDERSON, 2020).

Em suma, Silva (2008) resume o objetivo principal da metodologia como sendo é a eliminação de atitudes de separem o trabalho de engenharia de produto, engenharia de manufatura e de compras. Ao invés tratar essas áreas como sendo esferas separadas, o método propõe cooperação desde cedo de novos desenvolvimentos.

3.4 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Nesse capítulo foi apresentado um descritivo a base teórica que fundamentará os estudos no capítulo 4.

A literatura citada dá credibilidade às ações a serem executadas para atingimento da meta do trabalho. Além disso, a metodologia guiará os desenvolvimentos de forma a direcionar esforços e ajudar a formar o plano de atividades a seguir.

Próximo capítulo será a execução dos métodos citados no cap. 3 aplicando os dados da base de compressor a ser otimizada.

4. APRIMORAMENTO DO PROJETO DA BASE DO COMPRESSOR

A seguir, os conteúdos apresentados no capítulo anterior serão aplicados no contexto descrito no capítulo 2 usando como estrutura a metodologia DMADV descrita por Werkema (2012) e Staudter (2009).

Assim como comentado anteriormente, valores referentes à custos de peças e ferramentas serão alterados para que evitar infrações em contratos de sigilidade e para que a publicação desse trabalho seja possível sem maiores problemas. Custos e investimentos serão medidos em dólares americanos (USD) para minimizar efeitos de inflação e oscilação da taxa de câmbio.

4.1 *DEFINE*

Como o próprio nome diz, o propósito desse tópico é definir o escopo do trabalho e discorrer sobre as motivações e viabilidade do que se propõe.

4.1.1 Descrição do projeto

A empresa que em que esse projeto está sendo executado tem um setor de arquitetura e modularização cujo propósito é manter novos desenvolvimentos alinhados com conceitos de sucesso e buscar meios de otimizar os conceitos em produção.

Estudos conduzidos dentro desse setor acusaram preços mais elevados em um conceito atualmente em fase de produção em massa. Uma análise mais detalhada mostrou que, além de uma geometria mais complexa, esse conceito fazia uso de uma chapa metálica de espessura maior que usada em outros setores.

A padronização de espessura de chapa, padronização de componentes montados e simplificação das geometrias dessa base do compressor pode gerar redução de custo se o projeto se provar economicamente viável.

4.1.2 Viabilidade técnica

Existem 3 aspectos para serem analisados aqui:

- Disponibilidade da matéria prima;
- Custos para alteração do ferramental;
- Aprovação em testes de validação.

Atualmente, faz-se uso da chapa de 1mm de espessura e sabe-se que existe a opção de fornecimento da chapa de 0,9mm em vários fornecedores internacionais. Considerando que na literatura encontra-se a nova espessura especificada como uma medida padrão (Tabela 4.1) julgasse aceitável a hipótese de que a migração para a nova espessura é possível.

Tabela 4.1: Padrão norte americano para medidas padrões de espessura de chapas metálicas.

Aços		Ligas de Alumínio	Ligas de Cobre	Ligas de Titânio
Gage No.	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
28	0,38	0,41	0,13	0,51
26	0,46	0,51	0,28	0,63
24	0,61	0,63	0,41	0,81
22	0,76	0,81	0,56	1,02
20	0,91	1,02	0,69	1,27
19	1,07	1,27	0,81	1,6
18	1,22	1,6	1,09	1,8
16	1,52	1,8	1,24	2,03
14	1,91	2,03	1,37	2,29
13	2,29	2,29	2,06	2,54
12	2,67	2,54	2,18	3,17
11	3,05	3,17	2,74	3,56
10	3,43	4,06	3,17	3,81
8	4,17	4,83	4,75	4,06
6	5,08	5,64	6,35	4,75

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

No tocante ao ferramental, uma vez que a proposta é uma alteração de geometria e espessura, uma parte da ferramenta progressiva de conformação deve ser refeita. Contudo que a redução de custo seja importante, o *payback* pode ser suficientemente curto para justificar o investimento.

A aprovação de um protótipo é um processo longo e não se encaixa na janela de tempo da execução desse trabalho. Mas pode-se ter certo grau de segurança

quanto à viabilidade dessa proposta porque existem conceitos de base de compressores em uso em plantas diferentes que utilizam chapas de espessura 0,9mm em produtos de igual ou maior peso que o refrigerador em estudo. Portanto, essa mudança é possível.

4.1.3 Viabilidade econômica

Referente a mudança de matéria prima (motivação principal desse trabalho), deve haver um ganho de custo para que o projeto seja viável. Na

Tabela 4.2 estão descritos alguns preços teóricos para materiais metálicos. Nota-se que o autor correlaciona o preço do material ao peso comprado. Logo, entende-se que a redução de 10% de matéria prima (migração de chapas de 1mm para 0,9mm) deve gerar um ganho de custo na mesma ordem de grandeza.

Tabela 4.2: Referência teórica de preço para compra de chapas metálicas.

Liga	Custo [USD/kg]	Valor do refugo [USD/kg]
Aço baixo carbono comercial	0,80	0,09
Aço baixo carbono para embutimento	0,90	0,09
Aço inoxidável T304	6,60	0,40
Alumínio 1100 macio	3,00	0,80
Alumínio 1100 de meia dureza	3,00	0,80
Alumínio 3003 duro	3,00	0,80
Cobre macio	9,90	1,90
Cobre 1/4 de dureza	9,90	1,90
Titânio Grade 2	19,80	2,46
Titânio Grade 4	19,80	2,46

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

É importante lembrar que a matéria prima representa só uma das componentes do preço total da peça e que o custo de chapas metálicas varia em acordo com a

demanda e disponibilidade de cada região/ país em que se realiza esse levantamento. Logo, o propósito da Tabela 4.2 é de mostrar que na literatura encontram-se referenciais que indicam uma relação entre preço e peso da peça metálica. Os custos utilizados para esse trabalho serão ajustados para a realidade desse estudo.

Considerando custo de ferramental novo aproximado (USD 250.000,00) e expectativa ganhos de custo 6% do custo da peça atual – que custa USD 4,00 – tem-se um ganho de USD 0,24 por peça. Se a produção anual for de 1 milhão de peças, tem-se a economia de USD 240.000,00 por ano. O que resultaria em um tempo de *payback* de pouco mais de 1 ano. Qualquer ganho adicional por peça seria suficiente para atingimento da meta.

4.1.4 Project Charter

Isso posto, segue o Quadro 4.1 que mostra o *project charter* com resumo das atividades desse projeto.

Quadro 4.1: *Project Charter* do projeto proposto.

Título: Otimização em projeto de base de compressor.	
Data: 03/04/2021	Versão: A
Descrição do problema: Retração do mercado mediante crise global (Covid-19) culminou em aumento dos custos de transporte, matéria prima e itens comprados. Isso comprometeu o faturamento da empresa e, por consequência, os resultados financeiros.	
Descrição da oportunidade: A alta diretoria está apoiando e motivando projetos que tenham como objetivos padronização e redução de custos. A presente proposta é um passo importante para os dois objetivos.	
Importância: O apoio da alta diretoria facilitaria a implementação de novos conceitos e o processo de revisão de práticas comuns para que conceitos já estabelecidos sejam questionados e repensados.	
Resultados esperados: Comunização de espessura de matéria prima e redução de custo (meta de 6%).	

<p>Escopo: O trabalho está focado na base do compressor, limitando-se a design da peça em si sem impactar peças adjacentes. O projeto tem que gerar economia de custo e um conceito compatível com o produto e linha de montagem atual.</p>
<p>Restrições: As mudanças devem ser pensadas de forma a balancear redução de custo e investimento. O período máximo aceitável para que o projeto se pague é de 1 ano.</p>
<p>Premissas: Para os testes (simulações) descritas no trabalho, serão utilizadas normas em uso no Brasil. A homologação oficial usará padrões e normas locais que, para fins desse trabalho, serão consideradas como equivalentes.</p>
<p>Recursos necessários: Para os fins desse trabalho, serão utilizados 1 profissional da área amparado com conhecimento/ informações de profissionais de apoio (área de fabricação (estampagem), manufatura, laboratório de ruído, laboratório de ensaios mecânicos, profissional de simulação computacional, compras) e um computador com software de modelagem 3D disponível na empresa.</p>
<p>Riscos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Condições de oferta e demanda do material não favoráveis; • Investimento em ferramental/maquinário ser maior que esperado; • Ganho de capital ser menor do que esperado; • Diminuição da espessura acarretar falha em testes de homologação (simulação); • Complexidade de se avaliar situação a distância; • Complexidade de estratégia para: <ul style="list-style-type: none"> ○ Modificar ferramental em uso para produção; ○ Elaborar estratégia de <i>Phase-in / Phase-out</i> da peça atual e nova.
<p>Cronograma: Measure - 01/02/2021; Analyse - 22/02/2021; Design - 05/04/2021; Verify - 10/05/2021</p>
<p>Definição do time de trabalho: Sponsor: Diretor de compras; Champion: Gerente de R&D; Membros da equipe: Engenheiro de desenvolvimento de produto; comprador de commodities; engenheiro de manufatura; engenheiro de simulação; engenheiro laboratorial de testes mecânicos; engenheiro laboratorial de ruídos; engenheiro de ferramentas de estampagem.</p>

4.1.5 Toolgate 1

A estratégica da empresa é favorável a ações que promovam comunização de peças e matéria prima. Como o projeto proposto tem esse viés e existe uma redução de custo nesse processo, conclui-se que a proposta está alinhada com os objetivos da empresa. O projeto parece viável e não há impedimentos técnicos para sua execução.

4.2 MEASURE

Nesse tópico, deve-se identificar os requisitos do cliente, definir os requisitos de projeto e determinar os critérios/características que devem ser medidas para a redefinição da base do compressor (STAUDTER, MOLLENHAUER, *et al.*, 2009).

4.2.1 Requisitos do cliente

Como já comentado, essa é uma peça que é montada na parte de trás do refrigerador e é um dos pontos de contato do produto com o chão. A base do compressor não tem função estética e suporta o compressor (fonte de ruído durante funcionamento) e bandeja de evaporação como mostrado na Figura 2.4.

Como ponto de contato com o piso da cozinha, existem 2 expectativas dos clientes para esse componente:

- a. Permitir que o produto seja movido para manutenção ou limpeza;
- b. Não marcar o piso da cozinha.

Nesse sentido, é natural que o consumidor queira a liberdade de poder manusear o produto (mesmo carregado) de forma que não precise de nenhum equipamento ou de uma segunda pessoa para ajudá-lo. E quando o fizer, espera-se que essa movimentação não cause danos a seu patrimônio (como gerar riscos no piso ou deixar manchas não removíveis).

Como ponto de montagem do compressor:

- c. Espera-se que a base do compressor não amplifique o ruído.

A base possui geometrias de encaixe que fixam os elementos já citados e espera-se que esses elementos permaneçam fixados durante a vida útil do produto. O mesmo pode ser dito sobre os elementos parafusados.

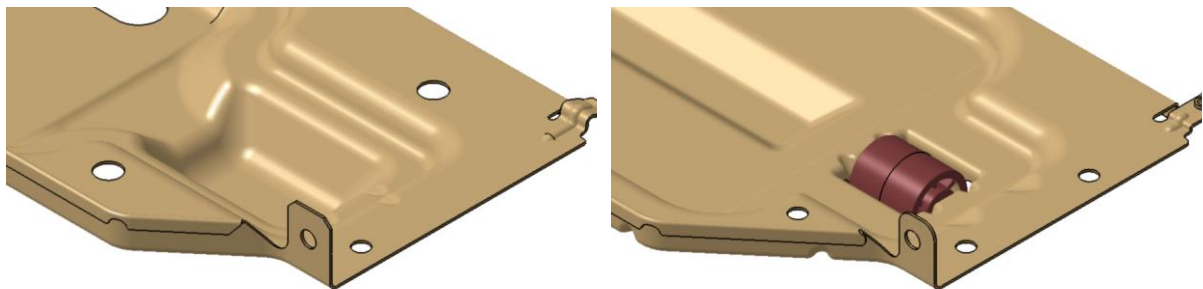
Uma última função seria a função estrutural:

- d. Espera-se que a base seja capaz de suportar a carga do refrigerador carregado enquanto performa as funções “a”, “b” e “c”.

4.2.2 Requisitos de projeto (CTQs)

Para facilitar a movimentação do produto, são adotadas 2 alternativas:

Figura 4.1: Opções de interface entre base do compressor e solo: Opção “a” é uma geometria embutida na chapa metálica durante o processo de conformação e “b” é a alternativa com um rolo de polímero montado em um eixo metálico



a. Embutimentos arredondados

b. Rolos

Fonte: o autor (2021)

A adoção de 1 das 2 opções muitas vezes é uma decisão baseada no perfil do público-alvo de cada mercado. Essa escolha depende da expectativa do cliente local, da configuração do produto (se tem alta ou baixa capacidade de armazenamento) e da faixa de preço (que também está relacionado com o público-alvo). De qualquer forma, ambas soluções permitem minimizar a resistência ao movimento.

A necessidade de não marcar o piso da casa do cliente remete à:

- Capacidade do ponto de contato com o chão de não liberar resíduos devido à degradação e/ou exposição a água e produtos de limpeza;
- Capacidade de não riscar ou danificar o chão quando o produto é movido para manutenção ou limpeza.

Nesse quesito, existe um cuidado maior em casos de bases de compressor projetados com embutimentos arredondados (Figura 4.1, item “a”). Nesse cenário, a chapa metálica (que fica em contato direto com o chão) teria que ser tratada com algum componente que protegesse o substrato de aço contra corrosão. Geralmente, adota-se recobrimento por deposição de zinco. Sobre a capacidade de não riscar/marcar o chão, a solução dos pés embutidos tem limitações. Se o refrigerador for relativamente leve (produtos com baixa capacidade de armazenamento), esse quesito pode ser atendido sem muitos problemas. No entanto, essa solução pode marcar o piso e soleira de portas quanto é usada em produtos maiores.

Em bases projetadas com rolos (Figura 4.1, item “b”), essas duas questões não são tão preocupantes. O rolo é um item plástico injetado (geralmente composto de poliamida) não gera resíduos quando exposto a água e produtos de limpeza mais comuns. Portanto, não deveria deixar manchas. Como consequência de ser plástico, os rolos são mais moles que os materiais de pisos de cozinha (que são geralmente de material cerâmico). E, por isso, não devem riscar o chão mesmo que sejam arrastados.

Um último requisito de projeto, diz respeito à função estrutural. No tópico 2.3 (página 22) desse trabalho foram descritos os esforços a que esse item é submetido. A base do compressor deve ser capaz de suportar esses esforços em situações extremas de carregamento sem que deforme a ponto de comprometer o funcionamento do produto.

Esse componente também deve ter uma frequência natural diferente da frequência de vibração do compressor montado a ele. Se essas frequências forem próximas, a vibração excessiva causa afrouxamento dos parafusos e pode dar condições para outros elementos se desprenderem dos respectivos pontos de fixação. Isso amplifica os ruídos durante o período que o compressor fica ligado.

4.2.3 Medidas para avaliação do componente

O Quadro 4.2 correlaciona as necessidades do cliente e os requisitos de projeto citados nos tópicos anteriores e define como medir cada um desses itens. Essas informações serão necessárias para as avaliações a seguir.

Quadro 4.2: Relação entre as necessidades dos clientes, requisitos de projeto e suas respectivas formas de medição.

Necessidade do cliente	CTQ	Medidas
Permitir movimentação do produto carregado	Peça não pode oferecer muita resistência ao movimento	Força para mover [N]
Não marcar o chão da cozinha quando movimentar o produto	Material em contato com o chão não pode ser mais duro do que o chão.	Dureza [HB]
Permitir que o chão da cozinha possa ser lavado (Não marcar o chão da cozinha com ferrugem)	Peças devem ser resistentes a corrosão	Horas de exposição à névoa salina sem corrosão [h]
		Camada protetiva de zinco [g/m ²]
Manter o funcionamento do refrigerador em níveis baixos de ruído	Vibração do compressor não pode soltar as peças parafusadas/ encaixadas	Frequência natural [Hz]
	Deformações por causa de movimentação/ carregamento não pode gerar deformações que desencaixe peças ou comprometa o funcionamento do produto	Deformação sobre carregamento [mm]

Fonte: o autor (2021).

4.3 ANALYZE

Nessa fase do desenvolvimento, as atividades têm o propósito de identificar e priorizar conceitos para desenvolver solução otimizada, e medir se a solução escolhida atinge as necessidades dos clientes (STAUDTER, MOLLENHAUER, *et al.*, 2009).

4.3.1 Composição da montagem e desdobramento dos custos

Como já comentado, existem 2 motivos principais para execução desse trabalho:

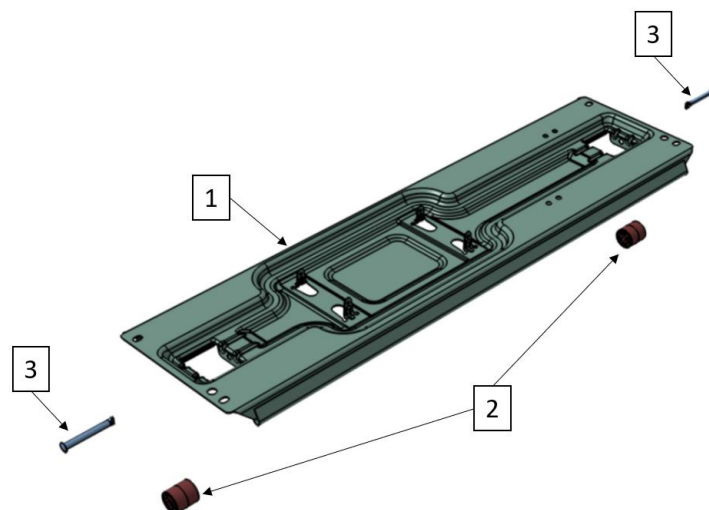
- Padronização de matéria prima;
- Redução de custo.

Utilizando como ponto de partida o conceito atual, a ação necessária para atingimento do primeiro objetivo é simples e está bem definida. Basta migrar do aço de 1mm de espessura para o aço de 0,9mm. A redução de 10% na quantidade de matéria prima deverá resultar em economia (considerando que o componente ainda seja capaz de passar pelos testes de homologação). Só que para que o projeto de redução de custo seja viável, a economia deve ser suficiente para que pague os investimentos em ferramentais em até 1 ano (estimativa atual é de pouco mais que isso). Por isso, ainda é necessário que o conceito atual seja revisto em busca de mais pontos de melhoria.

Os componentes que formam a base atual estão ilustrados na Figura 4.2. Trata-se de uma montagem simples composta por:

1. Base metálica;
2. Rolo plástico (2 unidades);
3. Eixo metálico (2 unidades).

Figura 4.2: Vista explodida da base de compressor atual (imagem ilustrativa).

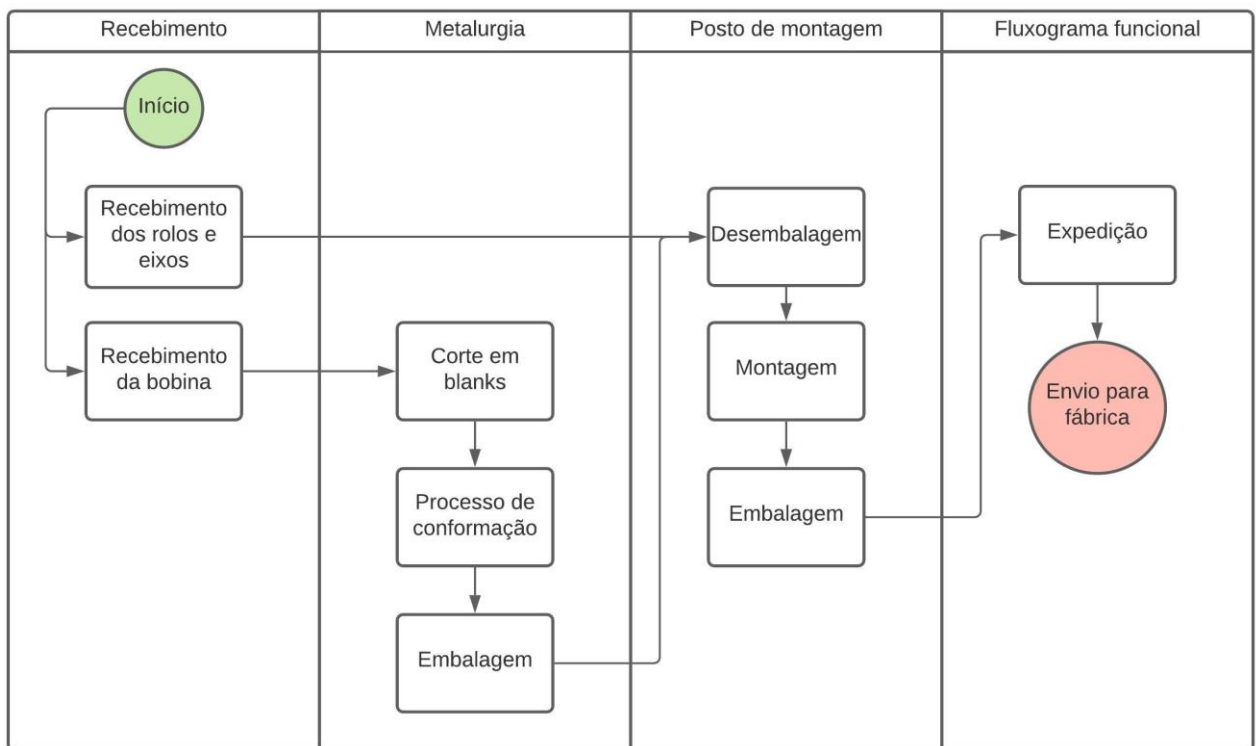


Fonte: de autoria própria.

A fabricação é toda terceirizada. A base metálica é comprada em bobina, cortada em *blanks* e conformada em uma ferramenta progressiva com vários estágios. Como o tempo de ciclo para essas operações é baixo, a peça conformada tem que ser retirada da prensa, empacotada, levada para uma área de montagem, retirada da embalagem, receber os rolos com os eixos, e finalmente empacotada para envio para a fábrica.

Os rolos e eixos são comprados e enviados para a empresa que faz a conformação. Esses itens são recebidos embalados, são levados ao posto de montagem, são desembalados, e montados na base do compressor. O processo resumido está na Tabela 4.3.

Tabela 4.3: Processo resumido da fabricação e montagem da base do compressor atual.



Fonte: Autoria própria.

Os custos, considerando o cenário descrito, distribuem-se em acordo com a Figura 4.3.

Figura 4.3: Distribuição dos custos que compõem a base do compressor.



Fonte: o autor (2021).

É importante lembrar que o custo de mão de obra citado acima inclui todos os processos para a fabricação. Não só às operações de montagem dos rolos.

4.3.2 Análise de valor

Essa etapa será executada em acordo com o procedimento descrito por Usirono (2015).

4.3.2.1 Identificação das funções de valor

As funções de valor da base do compressor são:

- Estruturar gabinete
- Suportar peso total do produto (produto mais carga interna)
- Suportar compressor e demais componentes
- Facilitar movimento
- Resistir à corrosão
- Resistir à sobrecargas
- Não riscar/marcar o chão

4.3.2.2 Correlação entre componentes, função e custos relativos

A Tabela 4.4 quantifica o custo relativo de cada função de valor em forma de porcentagem para facilitar passos a seguir.

O custo de cada componente, foi composto da seguinte forma:

- Base metálica: Custo da matéria prima mais custo do processo de conformação;
- Rolo: Custo do rolo mais metade do custo de montagem;
- Pino metálico: Custo do pino mais metade do custo de montagem.

Tabela 4.4: Custo relativo de cada função de valor.

Componente do produto	Custo do componente	% do custo	Subcomponente	% custo do subcomponente	% custo do subcomponente	Função	% função / componente	% custo função	
Base metálica	USD 3,00	75%	Metal	95%	71%	Estruturar gabinete	20%	14%	
						Suportar peso total do produto (produto mais carga interna)	20%	14%	
						Suportar compressor e demais componentes	10%	7%	
			Camada de Zn	5%	4%	Resistir à sobre cargas	50%	36%	
						Resistir à corrosão	100%	4%	
Rolo	USD 0,60	15%	Plástico	100%	15%	Suportar peso total do produto (produto mais carga interna)	30%	5%	
						Facilitar movimento	20%	3%	
						Resistir à sobrecargas	30%	5%	
						Não riscar/ marcar o chão	20%	3%	
						Suportar peso total do produto (produto mais carga interna)	30%	3%	
Pino metálico	USD 0,40	10%	Metal	100%	10%	Facilitar movimento	20%	2%	
						Resistir à sobre cargas	30%	3%	
						Não riscar/ marcar o chão	20%	2%	
		100%			100%				
								100%	

Fonte: o autor (2021).

4.3.2.3 Cálculo do benefício relativo

Para cálculo do benefício relativo de cada função, fez-se uso do diagrama de Mudge. Nele correlacionam-se todas as funções de valor e se pode ter todas as funções elencadas da mais à menos impactante na experiência do cliente (USIRONO, 2015).

O primeiro passo é listar as funções de valor e atribuir uma letra a cada uma. Isso facilitará a montagem do diagrama (vide Tabela 4.5).

Tabela 4.5: Equivalência das letras no Diagrama Mudge e as funções de valor.

LETRA	FUNÇÃO DE VALOR
A	Estruturar gabinete
B	Suportar peso total do produto (produto mais carga interna)
C	Suportar compressor e demais componentes
D	Facilitar movimento
E	Resistir à corrosão
F	Resistir à sobrecargas
G	Não riscar/ marcar o chão

Fonte: o autor (2021).

A seguir, são definidos os pesos relativos. Os pesos atribuídos terão valores entre “0” a “3”, em concordância com a importância relativa de determinada função em comparação à outra. (Tabela 4.6).

Tabela 4.6: Pesos utilizados para análise do diagrama Mudge.

PESO	SIGNIFICADO
0	Igual importância
1	Um pouco mais importante
2	Mais importante
3	Muito mais importante

Fonte: o autor (2021).

Por fim, compara-se por função por função com o intuito de mensurar o quanto cada uma contribui para o funcionamento adequado do componente base do compressor.

Tabela 4.7: Diagrama de Mudge para cálculo do benefício relativo a cada função.

	A	B	C	D	E	F	G	Total	%
A		B2	A1	A3	E1	0	A1	5	14%
B			B2	B3	0	0	B3	10	29%
C				C2	E2	F2	C1	3	9%
D					E3	F3	G2	0	0%
E						0	E2	8	23%
F							F2	7	20%
G								2	6%
								35	100%

Fonte: o autor (2021).

Como trata-se de uma avaliação de elementos qualitativos, é importante que essa atividade seja realizada com um fórum variado. Quanto mais representantes de especialidades diferentes forem incluídos desse exercício, maior será a assertividade da metodologia.

4.3.2.4 Comparação entre custo relativo e benefício relativo

Com os custos relativos a cada função de valor (Tabela 4.4) e o benefício relativo de cada uma dessas funções (Tabela 4.7), pode-se compará-los lado a lado e buscar oportunidades de otimização de custos. De forma geral, as funções que possuem custos relativos maiores que seus respectivos benefícios são candidatas a ações de redução de custo. Os valores numéricos estão mostrados na Tabela 4.8.

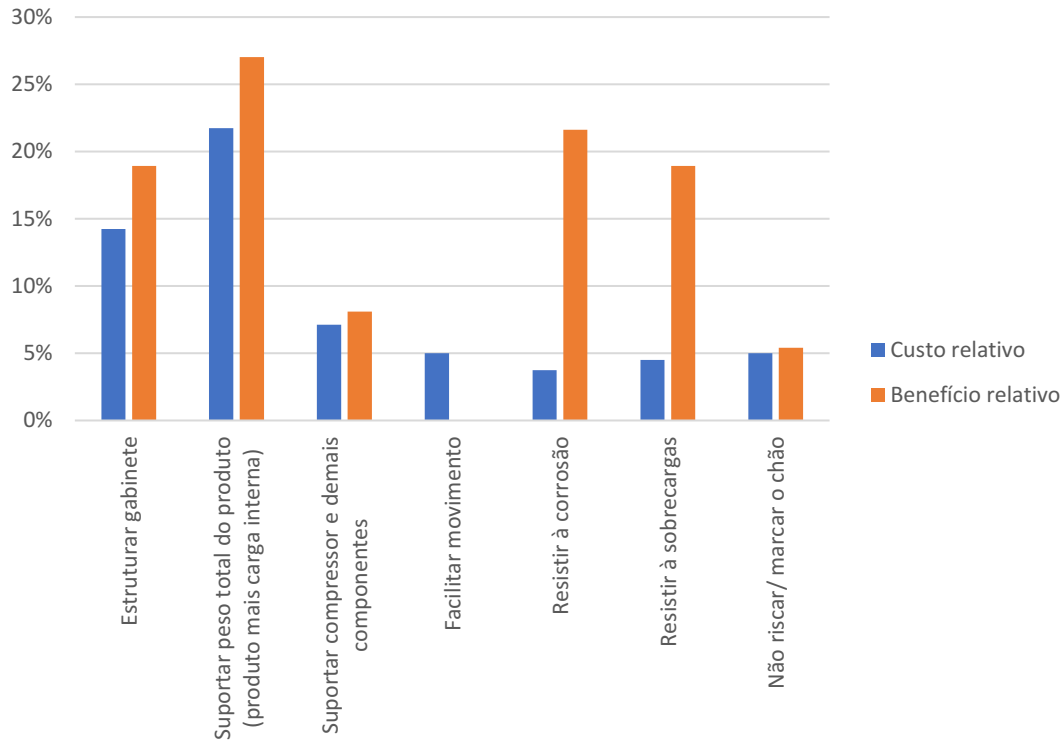
Tabela 4.8: Valores dos custos e benefícios relativos das funções de valor.

FUNÇÃO DE VALOR	CUSTO RELATIVO	BENEFÍCIO RELATIVO
Estruturar gabinete	14%	19%
Suportar peso total do produto (produto mais carga interna)	22%	27%
Suportar compressor e demais componentes	7%	8%
Facilitar movimento	5%	0%
Resistir à corrosão	4%	22%
Resistir à sobrecargas	5%	19%
Não riscar/ marcar o chão	5%	5%

Fonte: o autor (2021).

Para facilitar a análise, Usirono (2015) sugere que esses valores sejam plotados em gráfico de barras. Assim como é mostrado na Figura 4.4. A intensão é comparar as barras de custo relativo (em azul) e benefício relativo (em laranja). O exercício é exatamente o mesmo. Busca-se funções cuja barra azul seja maior ou igual à laranja.

Figura 4.4: Plotagem dos valores dos custos e benefícios relativos das funções de valor.



Fonte: o autor (2021).

Uma análise rápida indica que as funções analisadas estão com custos relativamente justificados pelos seus benefícios. O único caso em que essa relação não é favorável é seria o caso da função “facilitar movimento”. Dessa forma, é interessante analisar mais criticamente a necessidade dos rolos nas análises a seguir.

4.3.3 DFMA

Seguindo o procedimento mostrado no fluxograma sugerido por Boothroyd, et al., (2011) – Figura 3.3 – o ponto de partida desse trabalho seria conceito atualmente em fabricação (Figura 4.2). O primeiro passo para buscar otimizações seria uma análise de simplificação da montagem.

Em vista dos resultados da análise de valor (Figura 4.4) e considerando os custos de material e mão de obra envolvidos na compra e montagem dos rolos (Figura 4.3), uma possibilidade seria a troca desse conceito pelo design que utiliza embutimentos arredondados (ilustrados na Figura 4.1 - a). Essa ação reduziria USD

0,74 da compra das peças (rolos e pinos) e boa parte do custo de mão de obra e montagem (total de USD 0,86). Entretanto, essa é uma solução que carrega consigo alguns riscos considerando-se que:

1. Dentro do mercado em questão, os produtos concorrentes em sua grande maioria (se não forem todos) fazem uso de rolos. Portanto, existe a chance de desaprovo por parte do público alvo e consequente queda em *marketshare*. Por isso, o aval para seguir em frente com esse conceito deve ser dado pelo setor responsável pela gestão de linha de produto tomando como base estudos em campo;
2. Como na planta em questão não existem protocolos de homologação para esse conceito, um novo protocolo seria desenvolvido e mais testes seriam acrescentados ao plano de teste original.

Apesar dos riscos, os ganhos justificam maiores esforços para averiguar essa hipótese. Esses esforços (pesquisas com clientes e testes físicos para homologação) extrapolam a janela de tempo disponível para o desenvolvimento desse trabalho. Portanto, a solução a ser explorada aqui é a internalização do processo de montagem dos rolos.

Trazer esse processo para dentro da fábrica requer basicamente os mesmos gastos para pagá-lo em um fornecedor externo (investimento em maquinário, mão de obra e alocação de espaço físico). Porém existe a economia do dinheiro que seria destinado a pagar o lucro do serviço terceirizado para esse processo.

Isso requisitaria um investimento aproximado de USD 50.000,00 para aquisição de equipamento (para travar o pino em posição), composição de um posto de trabalho e ajustes de *layout*. A economia gerada seria de USD 0,15 por peça.

Seguindo o fluxograma da Figura 3.3, o próximo passo seria explorar materiais alternativos ao atual para revisão do conceito. O desdobramento dos custos da solução em uso mostra que 50% do preço da peça advém da matéria prima básica. A migração para a chapa de 0,9mm resultará em 10% de redução de massa e, potencialmente, 5% de redução do custo da peça (USD 0,20).

Decidiu-se por não alterar o design da base metálica pelos seguintes motivos:

1. As 2 ações de revisão do processo de montagem e mudança de matéria prima apresentam redução de 8,8% do preço inicial da base do compressor completa;

2. Se as alterações se limitarem à redução de espessura, boa parte do ferramental será mantido. Por isso, o investimento é consideravelmente menor.

4.3.4 Estimativa de *payback*

Considerando investimentos para a internalização da montagem dos rolos e redução de matéria prima, tem-se na Tabela 4.9 o cálculo total da redução de custo gerada e o investimento para tanto:

Tabela 4.9: Cálculo de economia por peça e investimento total.

	ECONOMIA [USD/ PEÇA]	INVESTIMENTO [USD]	FINALIDADE DO INVESTIMENTO
MATÉRIA PRIMA	0,20	25.000,00	Alteração do ferramental de conformação
INTERNALIZAÇÃO	0,15	50.000,00	Compra de equipamento, estação de trabalho e gastos com ajustes de layout
TOTAL	0,35	75.000,00	

Fonte: o autor (2021).

Aplicando-se a economia gerada por peça em uma escala anual, tem-se a economia mostrada na Tabela 4.10:

Tabela 4.10: Cálculo da economia anual.

	SITUAÇÃO INICIAL	SITUAÇÃO OTIMIZADA	ECONOMIA
CUSTO [USD/ PEÇA]	4,00	3,65	0,35
VOLUME [PEÇAS/ ANO]	1.000.000	1.000.000	1.000.000
MONTANTE [USD/ANO]	4.000.000,00	3.650.000,00	350.000,00

Fonte: o autor (2021).

Portanto, o tempo de *payback* seria de pouco menos de 3 meses (economia de USD 29.166,67 por mês).

4.3.5 *Toolgate 2*

As atividades propostas geraram resultados acima da meta inicial de 6% de economia e bem abaixo dos 12 meses para pagamento dos investimentos. Portanto,

conclui-se que os riscos até o momento são gerenciáveis e os resultados são promissores.

4.4 DESIGN

Nessa fase de desenvolvimento, o objetivo é detalhar as mudanças propostas e validar sua viabilidade, bem como investimentos e ganhos.

À princípio, o redesenho se resume à simples mudança de espessura da chapa metálica que formará a base do compressor. Para confirmar viabilidade desse plano, é necessário: Confirmar a redução de custo da chapa metálica; confirmar se a mesma geometria com espessura menor tem condições de atender às normas dos testes de homologação.

Como comentado, apesar do preço de metais ter correlação ao peso, quando se trata de chapas metálicas também existe a componente de oferta e demanda do mercado. Por isso, a redução prevista com a mudança de espessura resultou em um valor um pouco menor do que previsto. Ao invés de 5%, a redução real foi próxima de 4% no custo total da peça (USD 0,16).

Com relação aos testes de homologação, esses serão conduzidos com protótipos ferramentados seguindo os protocolos vigentes em uma janela de tempo adequada para assegurar que os riscos na adoção desse novo material não gerarão problemas no futuro. Esse trabalho se limitará a tratar as simulações estruturais, que é o primeiro passo para validação da geometria proposta.

Os quesitos a serem testados são:

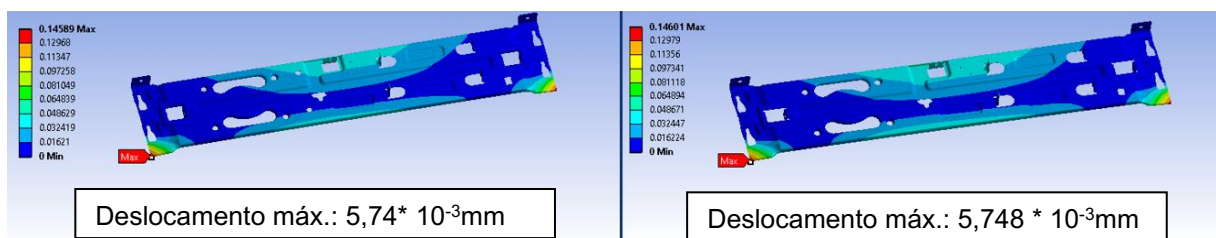
- Flexão máxima em condição extrema de carregamento;
 - Verificar se deformações por causa de movimentação/ carregamento podem causar desencaixe de peças ou comprometa o funcionamento do produto
- Modos de vibração.
 - Para verificar se vibração do compressor encontra a frequência natural do conjunto (o que gera ruído e pode soltar as peças parafusadas/ encaixadas)

Outros CTQs (Quadro 4.2) não devem gerar problemas, já que o ponto de contato com o chão (rolos atuais) já foram homologados e a especificação da camada protetiva de Zinco continuará sendo a mesma.

As simulações foram executadas usando os mesmos parâmetros definidos durante a fase de desenvolvimento dessa base (carregamento, restrições, tamanho de malha). Foi feita uma simulação com a chapa de 0,9mm e outra com a chapa de 1mm para servir como referência.

Na Figura 4.5, nota-se que a diferença entre os deslocamentos máximos é negligenciável. Nota-se também que os pontos que gerariam maiores problemas caso deformassem (que seriam as regiões centrais da peça onde o compressor e a calha de evaporação são montados) não apresentaram grandes mudanças.

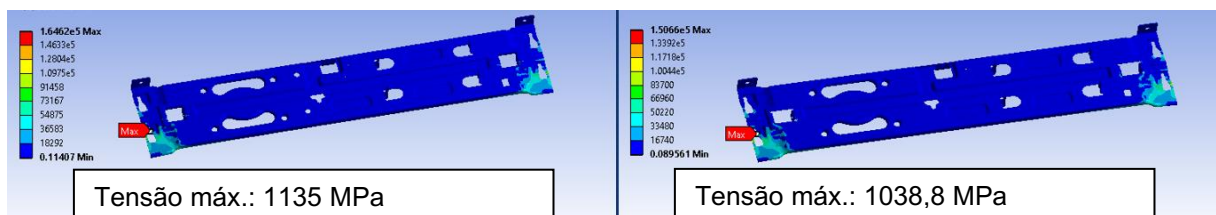
Figura 4.5: Imagem comparativa ilustrando mudança de deslocamento máximo em componentes com chapas de espessuras distintas.



Fonte: o autor (2021)

Passando para uma análise de tensões (Figura 4.6), nota-se que as medidas apresentaram aumento expressivo.

Figura 4.6: Imagem comparativa ilustrando mudança de tensão máxima em componentes com chapas de espessuras distintas.



Fonte: o autor (2021)

No entanto, a localização do ponto crítico permaneceu igual e a região em que a tensão é máxima é justamente a interfase entre a base do compressor e o elemento de fixação. Em testes físicos de carregamento máximo do produto, a região que sofre deformação plástica é a que corresponde ao centro do componente. Logo, como essa região apresentou tensões abaixo da tensão de escoamento, entende-se que a mudança de espessura é factível.

No que se refere à mudança do processo de montagem dos rolos, o ganho por peça continuou o mesmo (USD 0,15). A compra da nova estação de trabalho aconteceu sem maiores imprevistos e o preço do equipamento se confirmou igual ao planejado. A mudança no *layout* gerou a necessidade da construção de ramais de ar comprimido (que não estava previsto inicialmente) e a gastos extras para mudança da configuração de *flowracks*. Apesar disso, o investimento previsto inicialmente seguiu próximo do esperado e passou a USD 56.000,00.

4.4.1 *Toolgate 3*

As etapas previstas na fase de *Design* foram executadas e não houve alterações significantes no projeto inicial. O tempo para que o projeto pague seu investimento continua factível e não foi tão impactado (tempo para *payback* passou a pouco mais de 3 meses) com economia mensal de pouco menos de USD 26.000,00.

4.5 *VERIFY*

Trata-se da implementação de todas as ações estudadas até o momento. Para tanto, é importante estabelecer critérios para guiar os setores envolvidos, controlar e minimizar riscos e iniciar produção sobre condições controladas.

Essa etapa não foi concluída até a entrega final desse trabalho (por questões de planejamento financeiro e disponibilidade de recursos). Os tópicos a seguir descrevem como é o planejamento dessa implementação.

4.5.1 Planejamento macro

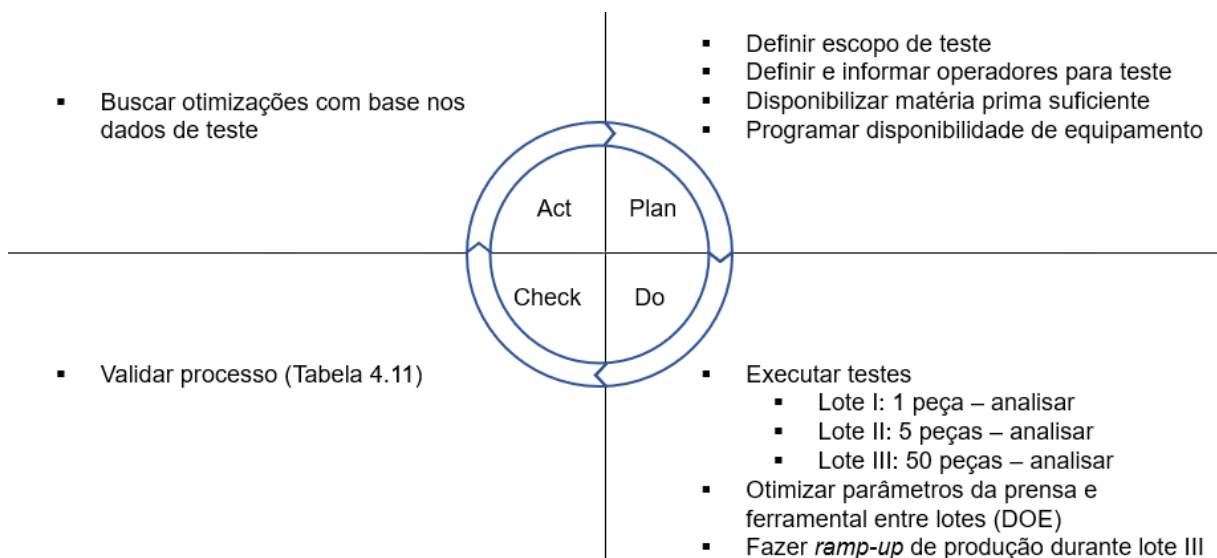
O processo de internalização da montagem de rolos requer algum tempo para montagem do posto de trabalho, treinamento de funcionários e alguns lotes pilotos para aprovação do novo processo pelos setores de engenharia de manufatura, qualidade, logística e segurança do trabalho. Mas é uma atividade relativamente simples que pode ser feita independentemente da mudança de espessura de chapas.

A migração das matérias primas já se mostra um processo mais complexo. Isso porque se faz necessário coordenar 3 fatores para ter sucesso na implementação. São eles: Alteração de ferramental atualmente em uso; gerenciamento de estoque de matéria prima; e condições de fornecimento da nova matéria prima.

4.5.2 Alteração do ferramental

A mudança de ferramental deve ser executada durante parada de fábrica ou, caso não seja possível, com um *buffer* suficiente para 2 dias de produção (mínimo). O custo considerado nos estudos de viabilidade financeira contempla fabricação de componentes novos para a ferramenta atual (ao invés de retrabalhar peças atuais). Isso permite que toda usinagem e demais tratamentos sejam executados sem parar a operação de estampagem e fornecimento de bases para a linha.

Figura 4.7: Plano para execução de lote piloto tomando ciclo PDCA como guia base.



Fonte: o autor (2021).

Antes da troca definitiva, todavia, deve ser feito um lote piloto para validar o processo com as novas peças. Em acordo com Staudter (2009), esse exercício deve ser planejado usando como base um ciclo PDCA (abreviação de *Plan, Do, Check, Act* que significa “planejar, fazer, verificar, agir”). A Figura 4.7 descreve como que cada uma das etapas se encaixa dentro do ciclo de melhoria contínua.

Os parâmetros a serem avaliados na fase “*check*” estão descritos na Tabela 4.11.

Tabela 4.11: Parâmetros para serem avaliados durante validação de novos processos.

Fatores para validar processo		
Qualidade	Tolerâncias de desenho	LIE, LSE
	Capabilidade do processo	C_p , C_{pk} , LIE, LSE
Capacidade	Produtividade	Partes por minuto
	Velocidade	Tempo para executar ordens
Custos	Custos de produção	Matéria prima e mão de obra
	Ferramental	Custo de depreciação
Requisitos regulatórios	Meio ambiente	Reciclagem de refugos
	Saúde laboral	Ergonomia e carga de trabalho
	Segurança do trabalho	Sistemas de prevenção de acidentes

Fonte: Adaptado de STAUDTER (2009).

Por se tratar de um processo já existente, essa fase serve principalmente para verificar se houve alguma alteração dos parâmetros atuais por consequência das novas peças e/ou nova matéria prima. É também uma oportunidade para correções do processo atual.

Se o lote piloto tiver bons resultados, pode-se preparar tudo para o SOP (*start of production*). Se não, o ciclo PDCA deve recomeçar com um novo lote com o objetivo de reparar os erros anteriores e alcançar parâmetros adequados.

4.5.3 Tarefas de *Supply Chain*

A mudança definitiva do ferramental deve ser planejada em acordo com a estratégia de *phase-in/phase-out* das matérias primas. A estratégia de *phase-out* leva em consideração os estoques de matéria prima já comprada. Antes da transição, essa

matéria prima deve ser consumida (em grande parte) para não comprometer o *business case* do projeto. Qualquer material já comprado que for jogado fora, gera uma despesa que deve ser paga pelo projeto, o que compromete parte dos resultados financeiros.

A estratégia de *phase-in* considera o tempo necessário para orçamento, processo de compra, transporte e entrega da nova matéria prima. É interessante que ela chegue antes do momento da migração, mas não muito antes. As bobinas deverão ser armazenadas e isso também gera custos que serão pagos pelo projeto.

É importante que a programação de *phase-in/phase-out* seja feita com a consciência que esse é um caminho sem volta. Se acontecer algum problema com o conceito com chapa mais fina, a volta para a chapa de 1mm será muito problemática. Uma vez que o *leadtime* para compra de chapas (tempo desde a emissão da ordem de compras até a entrega no fornecedor) pode variar de 1 a 6 meses dependendo das condições de oferta e demanda. Por isso, é muito importante que o lote piloto descrito na Figura 4.7 seja feito com cautela e atenção por um grupo de profissionais capacitados.

4.6 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

No presente capítulo, o item “base do compressor”, apresentado no capítulo 2, teve seu conceito revisado usando a base teórica descrita no capítulo 3.

A execução de todo o estudo desenvolvido desde o início do trabalho resultou na economia mostrada na Tabela 4.12:

Tabela 4.12: Resumo dos ganhos.

	<i>Inicial</i>	<i>Final</i>	<i>Redução por unidade</i>
Matéria prima	USD 2,00	USD 1,84	USD 0,16
Fabricação	USD 0,40	USD 0,40	USD -
Itens comprados	USD 0,74	USD 0,74	USD -
Mão de obra	USD 0,86	USD 0,71	USD 0,15
Custo total	USD 4,00	USD 3,69	USD 0,31 (meta USD 0,24)

Fonte: o autor (2021).

Tendo em vista que a revisão do *design* geraria aumento considerável de investimentos (devido à necessidade de fabricação de novo ferramental) e que a

mudança de espessura não demanda alterações nas geometrias atuais, foi concluído que não existem razões que justifiquem alteração nas geometrias correntes da base do compressor.

A princípio, a mudança de espessura não alterou o tempo de ciclo e a disponibilidade do equipamento.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com razoavelmente poucas mudanças e sem necessidade de investimento em ferramentas novas de conformação, foi possível encontrar de USD 0,31 de economia em uma peça de USD 4,00 (7,75% de redução) e justificar as tomadas de decisão com dados de campo e de maneira ordenada.

A especificação da matéria prima foi revisada para ser semelhante à especificação utilizada em outras plantas. A migração de matéria prima se mostrou viável e com redução de custos de USD 0,16 por peça.

Depois de uma análise mais detalhada dos componentes do custo final da base do compressor, notou-se que o custo de processamento não contribuía tanto quanto os fatores de mão de obra e matéria prima. Tendo em vista o custo de novos ferramentais, escolheu-se minimizar alterações à ferramenta atual. O resultado foi a redução significativa do tempo de *payback*. Já o processo de montagem dos rolos foi internalizado e gerou ganho de USD 0,15 por peça.

A análise por elementos finitos indica que, apesar do aumento de tensões, a configuração atual da base do compressor é capaz de suportar os esforços durante os ensaios de homologação. Logo, não foi necessário intervir no desenho da peça atual.

Apesar de positivos, os resultados talvez fossem melhores se fosse possível a alocação de mais pessoas dedicadas a esse trabalho. Mas, apesar do fato de que a fase “*verify*” ainda estar em andamento no momento em que esse trabalho é concluído (por questões de recursos de mão de obra e planejamento financeiros), os resultados alcançados excederam as metas iniciais e abriram caminho para mais projetos similares em outras plantas.

Portanto, esse exercício contribuiu para que a empresa aumentasse seus ganhos em uma de suas plantas, progredisse no quesito de padronização de um de seus componentes e encontrasse mais oportunidades semelhantes de redução de custo.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A hipótese de substituir os rolos por embutimentos arredondados deve ser investigada a fundo. Existe uma grande resistência à ideia por medo de perder o

interesse do público-alvo nesse produto (principalmente porque os produtos com essa solução no mercado em questão são vistos como “produtos baratos”), mas os ganhos são suficientes para desenvolvimento de novos estudos e mais pesquisas de mercado para medir os riscos desse projeto.

No quesito especificação de matéria prima, esse trabalho focou na padronização de espessuras. No entanto, estudos internos indicaram variações em outros parâmetros do aço que devem ser avaliados para que a matéria prima utilizada em todas as plantas seja, ao menos, equivalente no tocante às propriedades mecânicas.

REFERÊNCIAS

- ANDERSON, D. M. **Design for Manufacturability**. 2ª Ed. ed. Nova Yorque: Routledge/Productivity Press, 2020. ISBN ISBN-13: 978-0-367-24994-6.
- BAKERJIAN, R. **Tool And Manufacturing Engineers Handbook**. Dearborn: Society of Manufacturing Engineers, 1992. ISBN ISBN-0-87263-402-7.
- BOOTHROYD, G.; DEWHURST, P.; KNIGHT, W. A. **Product Design for Manufacture and Assembly**. 3ª Ed. ed. Boca Raton: CRC Press, 2011. ISBN ISBN-13: 978-1-4200-8928-8.
- BRALLA, J. G. **Design For Manufacturability Handbook**. Nova yorque: McGraw Hill, 1986. ISBN ISBN-0-07-007139-X.
- DOMANSKI, C. **Cost Engineering - A Practical Method for Sustainable Profit Generation in Manufacturing**. Boca Raton: CRC Press, 2020. ISBN ISBN-13: 978-0-367-44083-1.
- KUBIAK, T. M. **The Certified Six Sigma Black Belt Handbook**. 2nd ed. ed. Milwaukee: American Society for Quality, 2009. ISBN ISBN 978-0-87389-732-7.
- SILVA, C. E. S.; MELLO, C. H. P. **EPR 17 – Planejamento e Projeto de Produto**. Itajubá: Universidade Federal de Itajubá, 2008.
- STAUDTER, C. et al. **Design for Six Sigma + Lean Toolset**. Frankfurt: Springer, 2009. ISBN ISBN 978-3-540-89513-8.
- USIRONO, C. H. Engenharia e Análise de Valor. **EUAX**, Abril 2015. Disponível em: <https://www.euax.com.br/wp-content/uploads/2015/04/ebook_2015_010_Thiago_16_Paginas.pdf>. Acesso em: 21 Março 2021.
- WERKEMA, C. **Design for Lean Six Sigma**. Rio de Janeiro: Elsevier, v. II, 2012. ISBN ISBN 978-85-352-5427-3.
- YOUNKER, D. L. **Value Engineering Analysis and Methodology**. New Your: Marcel Dekker, 2003. ISBN ISBN: 0-8247-0696-X.