

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO,
CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO RIO GRANDE DO SUL
Campus Ibirubá**

EVANDRO ANDREI CONRAD

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
Metodologia de desenvolvimento de produto aplicada a projeto e execução de
dispositivo de fixação para solda robótica

Ibirubá

2022

EVANDRO ANDREI CONRAD

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Metodologia de desenvolvimento de produto aplicada a projeto e execução de dispositivo de fixação para solda robótica

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Banca Examinadora designada pelo Curso de Engenharia Mecânica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Campus Ibirubá, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Área de concentração: Projeto, fabricação e automação industrial

Orientador: Prof. Me. Giancarlo Stefani Schleder

Ibirubá

2022

CONRAD, Evandro Andrei.

Metodologia de desenvolvimento de produto aplicada a projeto e execução de dispositivo de fixação para solda robótica / Evandro Andrei Conrad, 2022.

Orientador: Prof. Me. Giancarlo Stefani Schleder.

72 páginas, ilustrado.

Monografia (Graduação) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul – Campus Ibirubá. Engenharia Mecânica, Ibirubá, 2022

1. Engenharia Mecânica. 2. Metodologia de Projeto. 3. Desenho CAD.

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul – Campus Ibirubá.

Engenharia Mecânica.

Metodologia de desenvolvimento de produto aplicado a projeto e execução de dispositivo de fixação para solda robótica

Evandro Andrei Conrad

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Banca Examinadora designada pelo Curso de Engenharia Mecânica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Campus Ibirubá, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Ibirubá, 20 de fevereiro de 2022.

Banca Examinadora:

Prof. (orientador) Me. Giancarlo Stefani Schleder
IFRS campus Ibirubá

Prof. Dr. Cristiano Kulman
IFRS campus Ibirubá

Prof. Me. Bruno Conti Franco
IFRS campus Ibirubá

Dedico este trabalho aos meus pais, Ernani Conrad e Marta Maria Peter Conrad, ao meu irmão Éverton Renan Conrad, e a minha namorada Jaqueline Daiane dos Santos, pela força, incentivo e apoio em todas as etapas, de meu crescimento pessoal e profissional, são muito importantes para mim e foram inspiração para conquistar este objetivo.

AGRADECIMENTOS

De maneira geral, agradeço a todos aqueles que auxiliaram para a elaboração deste trabalho.

Primeiramente agradeço a Deus, pelo dom da vida, pela luz proporcionada nos momentos difíceis, e nos bons.

Ao Instituto Federal Rio Grande do Sul, pela oportunidade de cursar esta faculdade pública, gratuita, e de qualidade.

Aos professores, por todo o conhecimento compartilhado, apoio e orientação durante todo o curso e durante o desenvolvimento deste trabalho.

Ao meu orientador Giancarlo Stefani Schleder, por estabelecer os caminhos, auxiliar e orientar a elaboração deste trabalho.

Aos colegas de faculdade, pela amizade durante todos estes anos, pelos conselhos, e pelo apoio, sempre foram muito importantes.

A empresa Máxima Tecnologia Industrial, por proporcionar a oportunidade de trabalho na área de engenharia, e por financiar a execução do tema deste trabalho.

A minha família, pela criação, educação, e orientação, por sempre me guiarem pelo caminho do bem, e pelo apoio durante a graduação e a vida.

Meu pai Ernani Conrad, mãe Marta Maria Peter Conrad, pessoas honestas e trabalhadoras, fontes de inspiração para ser uma pessoa de bem, e sempre lutar pelos objetivos da vida.

Ao meu irmão Éverton Renan Conrad, pela inspiração na escolha de minha carreira profissional, pela parceria e pelos momentos de descontração.

A minha namorada Jaqueline Daiane dos Santos, pelo amor, pelo companheirismo, pela compreensão, nos momentos que não pude estar presente, pelo apoio, e pelos conselhos.

*“Não importa quanto a vida possa ser ruim,
sempre existe algo que você pode fazer, e triunfar.
Enquanto há vida, há esperança.”*

Stephen Hawking

RESUMO

A necessidade do homem para realizar suas atividades de uma maneira mais eficaz torna preciso a pesquisa por processos e metodologias que proporcionam um melhor aproveitamento dos recursos a estes aplicados e também de uma funcionalidade adequada do produto. O presente trabalho busca apresentar a utilização de metodologia de desenvolvimento de produto aplicado ao projeto e a execução de um dispositivo de fixação para solda robótica de um conjunto soldado, com base nos princípios da metodologia proposta por Pahl & Beitz (2005). O referencial teórico apresentará informações sobre a metodologia de desenvolvimento do projeto, e também relativas a teorias sobre a dilatação térmica em conjuntos soldados e o uso disso a favor da fabricação do dispositivo de maneira incremental. Para o projeto são levantadas as informações junto ao cliente e estas são trabalhadas no software CAD (desenho assistido por computador) Solidworks, de maneira a atender o cliente e ao mesmo tempo ser um projeto viável. O software proporciona a visualização das peças em 3D (três dimensões) e geração de desenhos em 2D (duas dimensões), que posteriormente serão submetidos a fabricação. A utilização de soldagem robótica permite um melhor controle das características de soldagem, e em conjunto ao dispositivo de fixação de solda, reduz a distorção do conjunto.

Palavras chave: Dispositivo de fixação. Metodologia de Desenvolvimento de produto. Soldagem Robótica. Dilatação Térmica. Desenho CAD.

ABSTRACT

Man's need to carry out his activities in a more efficient way makes the research of processes and methodology precise that provides a better application resources and also an adequate functionality to the product. The paper presents the use of product methodology applied to the execution of a solution device for a robotic solution search and development project, based on the principles of the proposed methodology Pahl & Beitz (2005). The theoretical reference device will present information about the project development methodology, as well as theories about thermal expansion in sets of devices and the use of this in favor of manufacturing the method in an incremental way. For the project, information is collected from the client and these are worked on in Solidworks CAD (computer-aided design) software, in order to meet the client's needs and at the same time be a viable project. The software provides a visualization of the parts in 3D (three dimensions) and generation of drawings in 2D (two dimensions), which will later be delivered to a fabrication. The use of the welding installation device allows better control in welding tool set, and the welding set together configuration allows better control of welding device configuration.

Key words: Fixing device. Product Development Methodology. Robotic Welding. Thermal expansion. CAD drawing.

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

2D	Duas Dimensões
3D	Três Dimensões
AD	Alto Desejo
AWS	Sociedade Americana de Soldagem (American Welding Society)
BD	Baixo Desejo
CAD	Desenho Assistido por Computador (Computer Aided Design)
CH	Chapa
CM	Conjunto Montado
CS	Conjunto Soldado
E	Exigência
IFRS	Instituto Federal do Rio Grande do Sul
kg	Quilograma
mm	Milímetro
P	Peça
QUAD	Quadrado
RED	Redondo
RET	Retangular
SAE	Sociedade dos Engenheiros Automotivos (Society of Automotive Engineers)
TREF	Trefilado
VDI	Associação Alemã de Engenheiros (Verein Deutscher Ingenieure)

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Evolução da deflexão durante soldagem/resfriamento.....	17
Figura 2 - Fluxograma dos métodos de alívio de distorções residuais.....	18
Figura 3 - Fases do desenvolvimento de produtos.....	22
Figura 4 - Etapas de trabalho principais no planejamento e na concepção.....	24
Figura 5 - Etapas de trabalho principais para elaboração da lista requisitos.....	25
Figura 6 - Linha mestra para elaboração da lista de requisitos.....	26
Figura 7 - Etapas de trabalho para fase de concepção.....	27
Figura 8 - Engenharia sequencial e simultânea.....	28
Figura 9 - Ciclo de vida do produto.....	29
Figura 10 - Efeito das fases do ciclo de vida sobre o custo do produto.....	30
Figura 11 - Influência de alterações no produto na contabilidade de custos.....	30
Figura 12 - Influência de decisões na contabilidade de custos.....	31
Figura 13 - Exemplo do conjunto da estrutura em H da concha.....	33
Figura 14 - Dimensões aproximadas dos conjuntos de braços.....	34
Figura 15 - Linha mestra adaptada.....	35
Figura 16 - Função global e subfunções.....	37
Figura 17 - Matriz morfológica.....	38
Figura 18 - Concepção de versão prévia.....	41
Figura 19 - Acoplamento dos conjuntos de braços ao dispositivo.....	42
Figura 20 - Cronograma de projeto.....	43
Figura 21 - Desenho técnico do conjunto montado final.....	45
Figura 22 - Conjunto soldado do chassis.....	46
Figura 23 - Conjunto usinado do chassis.....	47
Figura 24 - Conjunto montado dos eixos.....	47
Figura 25 - Conjunto montado dos blocos com regulagem.....	48
Figura 26 - Conjunto montado dos eixos.....	49
Figura 27 - Conjunto Móvel Inicial.....	49
Figura 28 - Conjunto Móvel Final.....	50
Figura 29 - Posicionamento da Bucha.....	50
Figura 30 - Simplificação do eixo.....	51

Figura 31 - Projeto inicial chapa base + montagem inicial do sistema de giro.....	51
Figura 32 - Projeto final chapa base + montagem final do sistema de giro	52
Figura 33 - Vista explodida do conjunto giratório final	52
Figura 34 - Conjunto giratório montado.....	53
Figura 35 - Conjunto de guias lineares	53
Figura 36 - Conjunto Bucha de posicionamento.....	54
Figura 37 - Sistema de travamento do conjunto móvel	54
Figura 38 - Conjunto montado de fixação no robô	55
Figura 39 - Lista de chapas.....	56
Figura 40 - Lista de blocos	57
Figura 41 - Lista de tubos	57
Figura 42 - Lista de aços longos	57
Figura 43 - Lista de componentes de fixação.....	58
Figura 44 - Lista de adereços	58
Figura 45 - Chassis soldado.....	59
Figura 46 - Chassis usinado.....	60
Figura 47 - Conjunto móvel soldado	61
Figura 48 - Conjunto móvel usinado	61
Figura 49 - Chapas base do conjunto fixo com regulagem de posição	61
Figura 50 - Bloco montado.....	62
Figura 51 - Principais componentes do conjunto de blocos.....	62
Figura 52 - Conjunto montado de blocos com regulagem de posição.....	63
Figura 53 - Chapa base do sistema giratório	63
Figura 54 - Eixo e bucha do sistema giratório	64
Figura 55 - Montagem superior do sistema giratório	64
Figura 56 - Detalhe do travamento do sistema giratório	65
Figura 57 - Bucha de posicionamento	65
Figura 58 - Conjunto dos guias lineares	66
Figura 59 - Eixos.....	66
Figura 60 - Sistema de aperto do eixo	67
Figura 61 - Montagem final conjunto móvel	67
Figura 62 - Montagem final conjunto fixo	68

Figura 63 - Montagem completa do dispositivo 68

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	JUSTIFICATIVA.....	14
1.2	OBJETIVOS.....	15
1.2.1	Objetivos específicos	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1	SOLDAGEM.....	16
2.1.1	Soldagem robotizada.....	16
2.1.2	Distorções de soldagem.....	17
2.1.3	Controle de distorções	17
2.1.4	Alívio de distorções	18
2.1.5	Dispositivos de fixação.....	19
2.2	GERENCIAMENTO DE PROJETO.....	20
2.2.1	Metodologia de Projeto.....	20
2.2.2	Metodologia de Pahl & Beitz	21
2.2.3	Engenharia simultânea	28
2.2.4	Ciclo de vida de um produto.....	29
2.2.5	Efeitos da mudança no custo do produto	29
3	MATERIAIS E MÉTODOS	32
3.1	CONJUNTO SOLDADO	32
3.2	METODOLOGIA DE PROJETO	34
3.3	PLANEJAMENTO DO PRODUTO.....	35
3.4	LISTA DE REQUISITOS	35
3.5	CONCEPÇÃO	37
3.6	VARIANTES DA SOLUÇÃO.....	37
3.7	CONCEPÇÃO PRÉVIA DO PRODUTO	39
3.8	DEFINIÇÃO DO CRONOGRAMA DE PROJETO	42
3.9	CODIFICAÇÃO DO PROJETO	43
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	44

4.1 PROJETO DO DISPOSITIVO.....	44
4.1.1 Conjunto soldado e usinado do chassis	45
4.1.2 Conjunto montado de eixos	47
4.1.3 Conjunto montado dos blocos com regulagem	48
4.1.4 Conjunto móvel soldado e usinado	49
4.1.5 Conjunto montado dos blocos com sistema giratório.....	50
4.1.6 Conjunto montado de guias lineares	53
4.1.7 Conjunto montado de buchas para posicionamento.....	54
4.1.8 Conjunto montado de fixação no robô.....	55
4.1.9 Detalhamento final e produção	55
4.2 EXECUÇÃO DO DISPOSITIVO.....	59
4.2.1 Chassis soldado e usinado	59
4.2.2 Conjunto móvel soldado e usinado	60
4.2.3 Conjunto de blocos com sistema de regulagem de posição	61
4.2.4 Conjunto de blocos com sistema giratório	63
4.2.5 Conjunto de buchas para posicionamento	65
4.2.6 Conjunto dos guias lineares.....	65
4.2.7 Conjunto dos eixos	66
4.2.8 Lado do conjunto móvel do dispositivo.....	67
4.2.9 Lado do conjunto fixo do dispositivo	68
4.2.10 Montagem completa do dispositivo	68
5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	69
REFERÊNCIAS	70

1 INTRODUÇÃO

Para Soares (2006), com a alta da produção e a necessidade de produtos com garantia de qualidade final, alguns recursos devem ser aplicados para atender estes pontos. Ainda segundo Soares, na montagem destes equipamentos é comum utilizar dispositivos de soldagem, que são utilizados para realizar a fixação de peças e posicioná-las para realizar o processo de soldagem de forma a garantir tolerâncias dimensionais, e auxiliar na redução de deformações no conjunto provocadas pelo processo de soldagem. Estes dispositivos podem ser para solda manual e robótica, onde respectivamente, na primeira geralmente se realiza o ponteamto (soldar pontos) das peças, mas também pode ser utilizado para completar a solda, e no segundo, foco na produção, ou seja, a solda robótica é mais utilizada para completar a solda de um determinado conjunto que possui grande demanda.

A soldagem para Okumura (1982), trouxe grandes benefícios para construções metálicas, e também introduziu novos problemas, relacionados ao comportamento das uniões soldadas, já que envolve muitos fatores, como matéria prima, espessura do material, geometria, processo de soldagem, e parâmetros de soldagem por exemplo. Durante a soldagem são geradas tensões e deformações nas uniões, devido a dilatação térmica, assim o conjunto sofre alterações nas suas dimensões e os dispositivos, além de fixar o conjunto, tem a função de minimizar estas deformações.

O presente trabalho busca apresentar a elaboração do projeto e o desenvolvimento de um dispositivo para solda robótica, utilizando como base princípios de gerenciamento de projetos, análise de custos, processos de fabricação, e soluções de engenharia para solucionar as necessidades.

1.1 JUSTIFICATIVA

O desenvolvimento do dispositivo de acordo com o cliente, surgiu com a necessidade de permitir a realização da solda robotizada no conjunto de braços de carregadeiras, para que se tenha uma produtividade maior, elevando assim a eficiência do processo dentro da empresa, e também para que o conjunto tenha um adequado funcionamento dentro do produto em que ele está aplicado.

De acordo com Pahl et al. (2005), face a importância do desenvolvimento do produto, torna-se necessário a utilização de procedimentos que desenvolvam boas soluções, de maneira

planejada, flexível, otimizável e verificável. Assim, a utilização de uma metodologia de desenvolvimento de projeto simples, numa empresa de ferramentaria, torna o projeto e a execução de um produto mais estruturado e eficaz, tendo em vista que projeto de dispositivo dificilmente será repetido.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é desenvolver, por meio de metodologia, o projeto de um dispositivo de fixação, para auxiliar a realização do processo de soldagem robotizada nos braços que estruturam a fixação da concha em carregadeiras, e apresentar a execução da fabricação do mesmo.

1.2.1 Objetivos específicos

Para realizar os objetivos do trabalho foram determinados os objetivos específicos:

- Levantar informações e realizar projeto conceitual;
- Definir conceito e aprovar;
- Definir o cronograma;
- Realizar projeto 3D (3 dimensões), utilizando software CAD Solidworks, definindo materiais, processos de fabricação e construtivos.
- Aprovar projeto e detalhar;
- Solicitar orçamentos e analisar custo.
- Acompanhar a fabricação e validação.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Os principais conceitos aplicados no desenvolvimento do trabalho serão apresentados neste capítulo. Inicialmente citando a soldagem, e a necessidade de dispositivos de fixação para realizar a mesma, e posteriormente a metodologia de projeto ao qual o trabalho foi baseado.

2.1 SOLDAGEM

Para Marques (2016), a soldagem é o mais importante processo de união de metais utilizado industrialmente. A realização do processo, na maioria dos casos, consiste na aplicação localizada de calor, pressão e/ou deformação plástica, tornando a junta liquefeita, que quando se solidifica une ambas as partes.

Okumura (1982), destaca que as grandes vantagens da soldagem em relação a outros processos de união, se trata da simplicidade e economia, pois requerem quantidade relativamente pequena de material.

A soldagem manual ainda tem espaço em indústrias pequenas e onde se desenvolvem, por exemplo, produtos específicos, em que o soldador se adapta ao que está fazendo. No mercado de trabalho existe uma escassez de profissionais qualificados e, também levando em consideração a fadiga dos operadores, tem-se uma eficiência reduzida.

Em grandes indústrias que necessitam de uma produtividade maior, a indústria 4.0 está presente tornando os processos industriais cada vez mais automatizados e proporcionando agilidade na produção. Tendo isso vista, e em paralelo a qualidade do produto, surge a necessidade do desenvolvimento de dispositivos de solda.

2.1.1 Soldagem robotizada

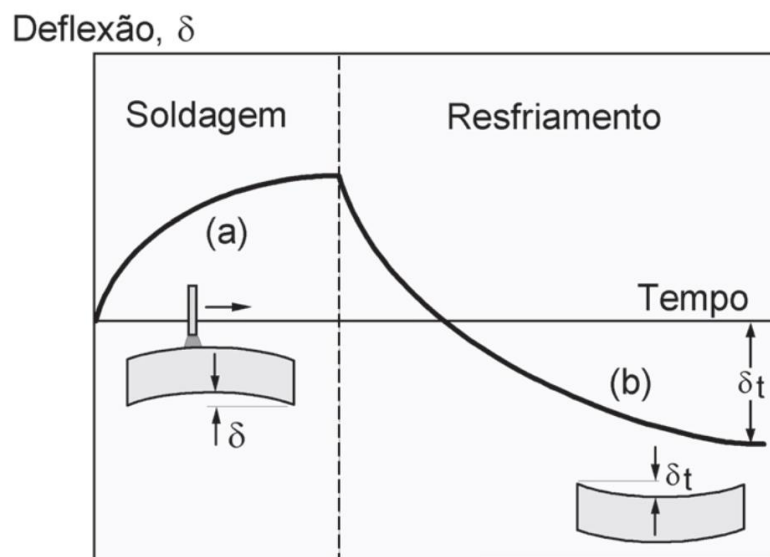
Um sistema de soldagem automatizado requer equipamentos e dispositivos de alta confiabilidade. Atualmente, o equipamento mais empregado nas indústrias para a automação da soldagem é o robô industrial. Para Marques (2016), um robô industrial consiste em um conjunto de elos conectados e articulados que irão trabalhar em vários eixos para permitir o posicionamento ideal da tocha de soldagem para a realização do processo.

2.1.2 Distorções de soldagem

De acordo com Marques (2016), grande parte das deformações está relacionada com as reações que ocorrem durante a solidificação/resfriamento do cordão de solda e de sua microestrutura final. Ainda segundo ele as secções aquecidas no processo de soldagem tendem a se dilatar, mas a dilatação é dificultada pelas partes adjacentes submetidas a temperaturas menores, o que causa o aparecimento de deformações elásticas e, eventualmente, plásticas na região da solda.

A figura 1, ilustra esquematicamente a formação da distorção. Para Marques (2016), região superior que recebe o calor proveniente do processo de soldagem, sofre uma expansão e deformação plástica mais intensa (secção A da Figura 1). Após a finalização da soldagem, o conjunto vai resfriando e sofre contração. A região mais aquecida, sofre maior deformação plástica para a região superior e ao se resfriar o conjunto apresenta uma distorção final voltada para a direção oposta da distorção transiente máxima (secção B da Figura 1).

Figura 1 – Evolução da deflexão durante soldagem/resfriamento



Fonte: Marques (2016, P. 103)

2.1.3 Controle de distorções

Para Marques (2016) e para Okumura (1982), diversas medidas podem ser usadas para reduzir e controlar a distorção na soldagem, sendo as principais:

- Reduzir quantidade de calor ou material depositado, otimizando chanfros;
- Projetar conjuntos com simetria;
- Posicionar soldas na linha neutra;
- Utilizar soldas intermitentes e em menor quantidade;
- Sequência apropriada de soldagem;
- Pré aquecimento da região a ser soldado;
- Fixação e restrição dos componentes;
- Utilizar pré-deformações contrárias, para compensar a distorção.

2.1.4 Alívio de distorções

Conforme, Marques (2016) e Okumura (1982), após a soldagem as tensões residuais podem ser aliviadas por métodos térmicos ou mecânicos. A Figura 2 apresenta um fluxograma contendo as principais formas para o alívio das tensões residuais.

Figura 2 - Fluxograma dos métodos de alívio de distorções residuais



Fonte: Adaptado de Okumura (1982) e Marques (2016).

O alívio dessas tensões por meio dos mecanismos citados no fluxograma, se baseiam em permitir a deformação permanente localizada do componente que possui tensões residuais, assim reduzindo e eliminando as variações dimensionais surgidas durante o processo de soldagem.

Conforme Okumura (1982), alívio de tensões a baixas temperaturas e localizado, é o mais indicado para grandes estruturas, e para isso, pode ser utilizado um maçarico. Por meio de vibrações, o alívio consiste em aplicar baixa frequência na estrutura causando uma ressonância, o que ocasiona deformação plástica parcial da estrutura e alívio de tensões. Outro meio bastante utilizado é por prensagem, normalmente utilizando sistemas hidráulicos para deformar a estrutura plasticamente e corrigir as variações.

2.1.5 Dispositivos de fixação

Em projetos de ferramentaria é comum o uso de gabaritos para fixar e posicionar as peças, seja para algum processo de usinagem, ou como no caso deste trabalho, para realizar um procedimento de soldagem. Soares (2006) destaca que em virtude da necessidade de alta produção, repetibilidade, e garantia ao produto final, devem ser aplicados estes recursos de posicionamento e fixação das peças de conjuntos.

Os fixadores podem ser utilizados para reduzir tensões geradas durante a soldagem, e também possibilitar que as peças montadas no dispositivo garantam uma compensação da contração que a soldagem gera. Em alguns casos podem ser soldadas estruturas temporárias no conjunto, apenas para fazer um travamento temporário, após ele é retirado, entretanto de acordo com Soares (2006), esta opção altera a microestrutura do material (sendo mais relevante em alguns materiais do que outros), podendo comprometer a resistência mecânica, e também prejudica a estética do conjunto. Assim, para que não se tenha estes problemas, o ideal é desenvolver dispositivos móveis, que permitam fácil operação, mas que sejam robustos e mais resistentes que os conjuntos a serem soldados.

A Sociedade Americana de Soldagem (American Welding Society), AWS (2006, apud SOARES; 1987, P. 42) cita que o projeto de dispositivos de fixação deve estar de acordo com os itens:

- Acesso para soldagem;
- Robustez superior ao do conjunto soldado;
- Proteção contra intempéries do processo;
- Ter facilidade para remover a fixação e também o conjunto do dispositivo.

2.2 GERENCIAMENTO DE PROJETO

De acordo com Larson (2016), um projeto é um empreendimento temporário que visa criar um produto, serviço ou resultado único, tendo como meta satisfazer a necessidade do cliente. No livro “Gerenciamentos de Projeto: o processo gerencial”, o autor Larson menciona as principais características de um projeto:

1. Um objetivo estabelecido.
2. Um ciclo de vida definido, com início e fim.
3. Geralmente, envolve diversos departamentos e profissionais.
4. Comumente, faz algo que nunca foi feito antes.
5. Requisitos específicos de tempo, custo e desempenho.

Back (2008), destaca que problemas de pequeno porte não tem necessidade de seguir um longo procedimento, mas para projetos de grande porte em que estão envolvidos vários profissionais, é indispensável seguir um procedimento ou uma metodologia predeterminada, isto implica no gerenciamento do projeto.

Kerzner (2008, apud BACK; 2001, P. 101) define que o gerenciamento de projetos consiste em realizar o planejamento, organização, e controle dos recursos da organização para satisfazer um objetivo dentro de um cronograma descrito em um tempo relativamente curto.

Referente ao processo de desenvolvimento de produtos, Bergamo (2003, apud ROMANO; 2014, P. 49), destaca que devido à complexidade dos projetos e das atividades que o envolvem, dividir o projeto em fases torna mais fácil a caracterização e o seu controle.

2.2.1 Metodologia de Projeto

Por metodologia de projeto Pahl et al. (2005) destaca que é um procedimento planejado de condutas no desenvolvimento e no projeto técnico. Fazem parte disto, procedimentos de interligação de etapas de trabalho e fases de projeto, pela organização, que se adapta ao problema em questão. É preciso atender objetivos gerais, gerar estratégias e métodos para solucionar problemas.

Uma metodologia de projeto para Pahl et al. (2005) deve:

- Possibilitar um procedimento orientado por problemas;
- Incentivar invenções, ou facilitar a busca de soluções;
- Ser compatível com conhecimentos de outras disciplinas;
- Facilitar o planejamento e o controle do trabalho num processo integrado e
- Ser orientação e diretriz para as equipes envolvidas.

A maioria dos procedimentos pesquisados, sistematizados e descritos tem seu enfoque no processo de projeto, que é intrínseco a um processo mais amplo, que é o desenvolvimento do produto, segundo Back (2008), no desenvolvimento, a metodologia de Pahl e Beitz (2005) é uma das metodologias prescritivas mais adotada.

2.2.2 Metodologia de Pahl & Beitz

O processo metódico de Pahl et al. (2005), permite a realização de um projeto de maneira sequencial, de forma lógica e iterativa, ou seja, desenvolvendo e retornando a etapas anteriores para fazer alterações no projeto até definir uma solução adequada. As principais características do método são oriundas de diretrizes, elaboradas pela VDI (Verein Deutscher Ingenieure ou Associação alemã de engenheiros), a qual estavam representados a maioria dos cientistas e projetistas da indústria, sendo a experiência profissional um forte ponto de influência no desenvolvimento dos métodos.

A diretriz VDI 2221 (1994) apresenta os procedimentos gerais para o desenvolvimento e projeto de produtos de engenharia mecânica e prevê sete etapas de trabalho. A VDI 2222 (1996) define um plano de programa e um método separado para projetar produtos, dividido em quatro estágios. Nestes dois planos de programa, as características de flexibilidade são enfatizadas, ou seja, a execução das etapas de trabalho não é executada de forma estrita, mas é executada ciclicamente, desta forma em alguns casos não será possível uma distinção entre as fases principais, já que são necessários estudos sobre a forma e decisões detalhadas com relação a produção, retornando a qualquer momento quando necessário.

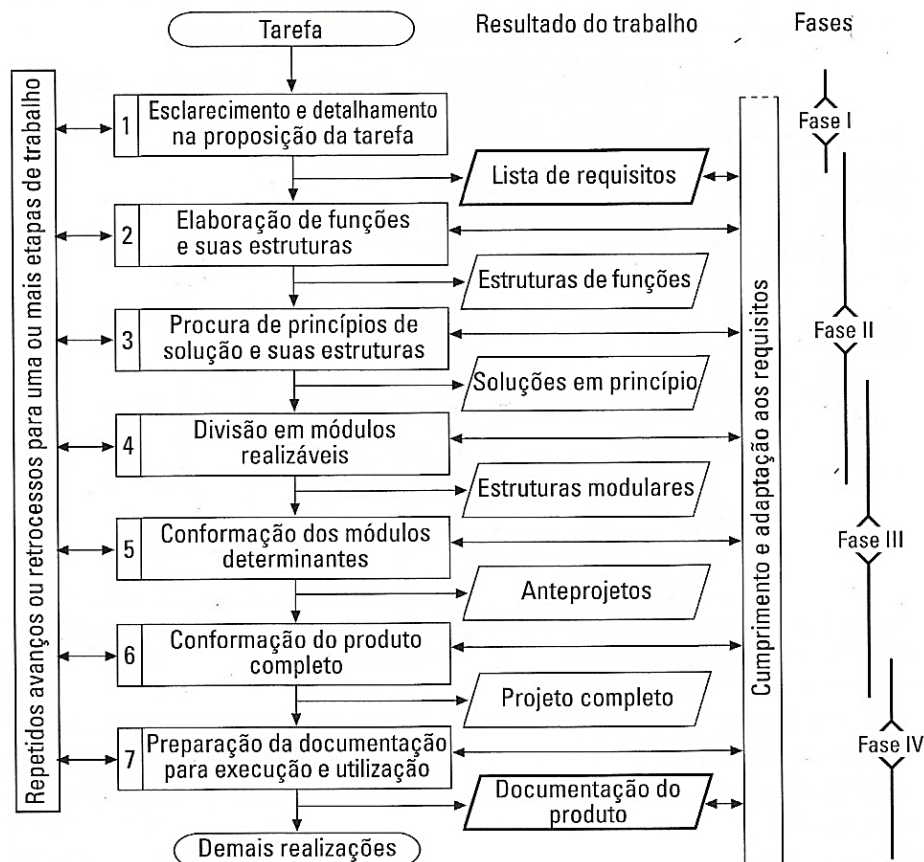
Para Pahl et al. (2005), é conveniente e usual desdobrar o processo de desenvolvimento e de projeto nas seguintes fases principais:

- Planejar e esclarecer a tarefa – definição informativa

- Conceber – definição preliminar
- Projetar – definição da configuração
- Detalhar – definição da tecnologia de produção

As 4 fases do desenvolvimento de projeto, citadas anteriormente estão esquematizadas na Figura 3, onde na primeira se esclarece o projeto e define as tarefas por meio da lista de requisitos que o equipamento precisa prever. A segunda etapa é o conceito, a ideia inicial do produto, no qual o problema é verificado, o princípio da solução e as tarefas podem ser modificados. O conceito, implementação e avaliação final da solução com base em padrões técnicos e econômicos. A terceira etapa envolve a busca de soluções funcionais para o produto (forma, material, acabamento, tamanho, processos de fabricação), e, portanto, buscando soluções técnicas. Por fim, na quarta e última etapa, preenchida a documentação do produto para sua implementação e uso.

Figura 3 - Fases do desenvolvimento de produtos



Fonte: Pahl et al. (2005, P. 12)

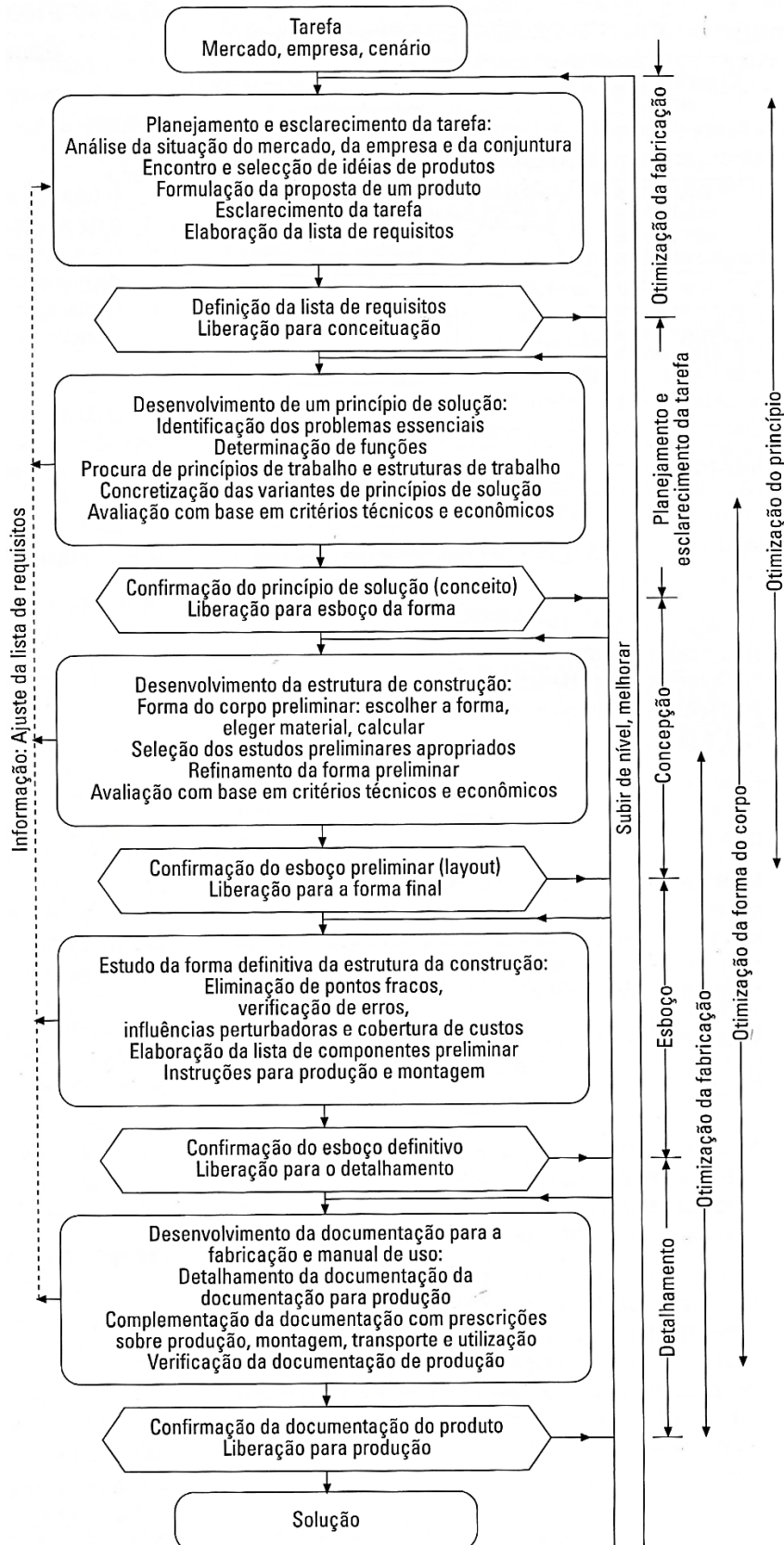
A necessidade de esclarecer o problema do projeto se justifica pelo fato das soluções se tornarem mais nítidas, tornando mais eficiente a execução das tarefas. Em outras palavras a metodologia é orientada por problemas, e a partir destes, são aplicados procedimentos para chegar numa solução eficiente.

O fluxo de trabalho segundo Pahl et al. (2005), demanda o planejamento de 3 pontos importantes:

- O processo de desenvolvimento e de projeto;
- Estabelecimento de cronograma das etapas de trabalho;
- Custos do produto.

Nas fases principais são propostas etapas de trabalho a serem seguidas no planejamento e concepção de um produto, elas estão destacadas na Figura 4. Nestas etapas vemos a necessidade de pontos de tomada de decisão/avaliação, pois muitas atividades são subordinadas e dependem de atividades indiretas, formando o ciclo destacado anteriormente. No fluxograma, isto está destacado nas palavras “melhorar” e “otimizar”.

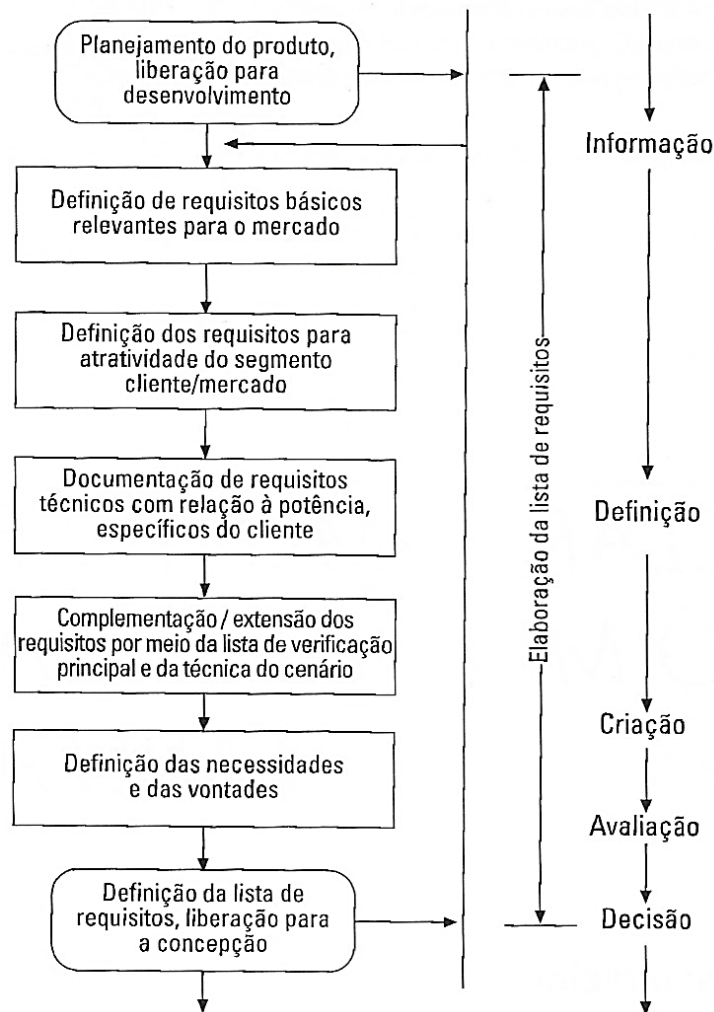
Figura 4 - Etapas de trabalho principais no planejamento e na concepção



Fonte: Pahl et al. (2005, P. 12)

Todos os planos de desenvolvimento de produtos são realizados por meio de classificação de demanda, esclarecimento de condições e lista de requisitos. Esta etapa está ajustada e sintonizada para as etapas subsequentes, pois é neste ponto que se coleta a maior quantidade de informações, o que levará à elaboração das especificações do projeto por meio da lista de requisitos, por isso, ela sempre deve estar atualizada. A Figura 5 apresenta as principais etapas para a elaboração da lista de requisitos.

Figura 5 - Etapas de trabalho principais para elaboração da lista requisitos



Fonte: Pahl et al. (2005, P. 12)

Pahl et al. (2005), destaca uma linha mestra, que segue na Figura 6, com as principais características, partindo de um ponto mais concreto da tarefa, onde já se tem um conhecimento mais avançado do que se deseja desenvolver, levando a requisitos mais relevantes.

Figura 6 - Linha mestra para elaboração da lista de requisitos

CARACTERÍSTICAS	Exemplos
Geometria	Tamanho, altura, largura, comprimento, diâmetro, demanda de espaço, quantidade, disposição, conexão, supressão e ampliação
Cinemática	Tipo de movimento, direção do movimento, velocidade, aceleração
Forças	Magnitude da força, direção da força, frequência da força, peso, carregamento, deformação, rigidez, propriedades elásticas, estabilidade, ressonância.
Energia	Potência, eficiência, perdas por atrito, ventilação, variáveis de estado, como pressão, temperatura, humidade, aquecimento, resfriamento, energia de abastecimento, armazenamento, capacidade, conversão de energia.
Matéria	Propriedades físicas e químicas do produto de entrada e saída, material auxiliar, substâncias prescritas (lei de alimentos e semelhantes), fluxo de material e transporte.
Sinal	Sinais de entrada e saída, tipo de mostrador, aparelhos para produção e monitoramento, forma do sinal.
Segurança	Princípios de segurança diretos, sistemas protetores, segurança industrial, segurança no trabalho, segurança ambiental.
Ergonomia	Relação homem máquina: operação, tipos de operação, disposição clara, iluminação, desenho
Produção	Limitações do local de produção, máxima medida fabricável, processo produtivo preferido, meios de produção, qualidade possível e tolerâncias.
Controle de qualidade	Possibilidade de testes e medição, prescrições especiais (normativas)
Montagem	Prescrições especiais de montagem, montagem, embutimento, montagem de canteiro de obras, bases de equipamentos.
Transporte	Limitações através de guinchos, bitola ferroviária, vias de transporte por tamanho e peso, tipo e restrições do transporte
Operação	Baixo ruído, taxa de desgaste, aplicação e domínio de utilização, condições de uso (Atmosfera sulfurosa, trópicos)
Manutenção	Livre de revisão ou número e intervalo de tempo entre revisões, inspeção, troca, concerto, pintura, lavagem.
Reciclagem	Reaproveitamento, reprocessamento, disposição final, armazenamento.
Custos	Máximos custos de fabricação, custo de ferramentas, investimento, amortização
Prazo	Fim do desenvolvimento, plano em rede para etapas intermediárias, prazo de entrega

Fonte: Adaptado de Pahl et al. (2005, P. 105)

Após esclarecer a tarefa pela abstração dos principais problemas e funções, a segunda etapa se destina a concepção, ou seja, conceber uma solução preliminar. As variantes de solução elaboradas precisam ser avaliadas e as que não satisfizerem as exigências da lista de requisitos precisam ser eliminadas, o restante, com base em critérios técnicos e econômicos, são avaliados

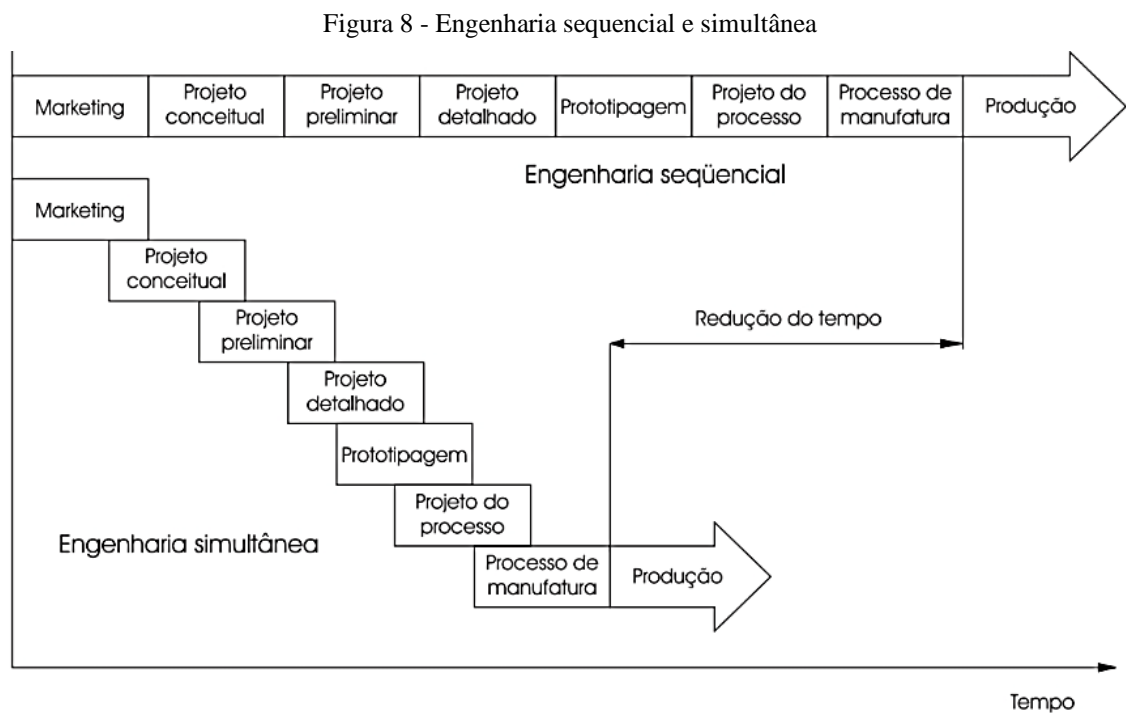
- Otimização da fabricação.

2.2.3 Engenharia simultânea

Engenharia simultânea para Pahl et al. (2005), trata do trabalho interdisciplinar, em paralelo e corporativo, do projeto, produção e distribuição, por todo o ciclo de vida do produto. Diferente do modelo sequencial, mostrado na Figura 8, em que uma tarefa é realizada após a outra, no processo simultâneo, as atividades andam em paralelo e até mesmo se sobrepõe. Para o desenvolvimento do produto, é constituída uma equipe, composta por elementos de vários setores, sendo os principais objetivos desta organização e da forma de trabalho:

- reduzir o tempo de desenvolvimento e de produção;
- redução de custos;
- melhoria da qualidade;
- trabalho em equipe interdisciplinar;
- troca de informações de maneira mais rápida.

A Figura 8, compara o desenvolvimento de produto de maneira sequencial e simultânea:



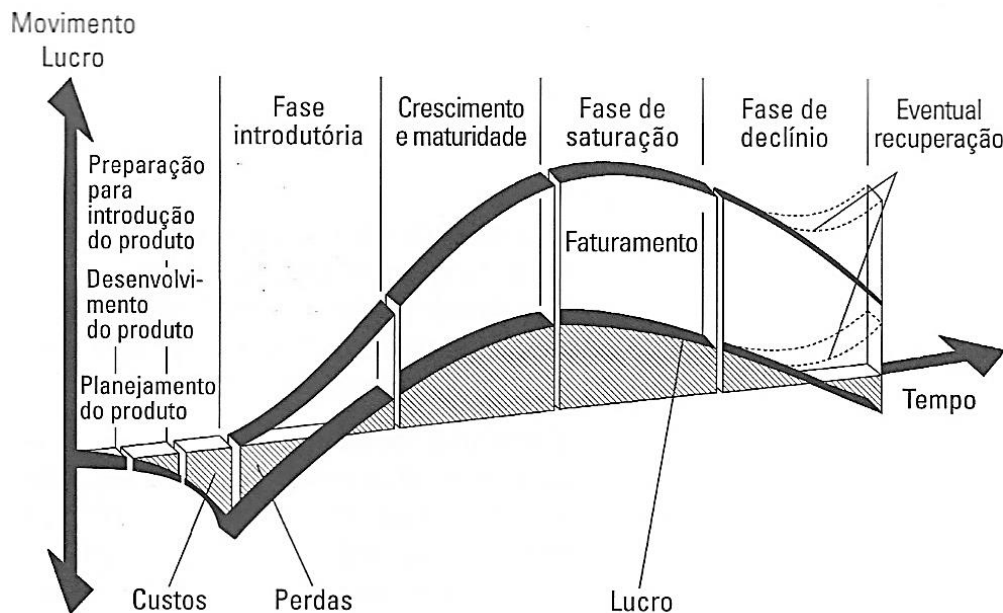
Fonte: Back (2008, P. 47) apud Holmes 1999.

Fica claro a redução de tempo, no método de engenharia simultânea, pela adoção do paralelismo entre as fases do desenvolvimento, realizando assim tarefas ao mesmo tempo.

2.2.4 Ciclo de vida de um produto

O ciclo de vida, de acordo com Pahl et al. (2005), se fundamenta pelo faturamento, pelos lucros e pelos custos (perdas), sendo que todos os produtos estão sujeitos a isto. A Figura 9, apresenta estes três fatores graficamente, em função do tempo, que varia de acordo com o tipo de produto e da especialidade. A tendência é a constante redução no tempo do ciclo de um produto, com isso o desenvolvimento precisa ser cada vez mais eficiente.

Figura 9 - Ciclo de vida do produto



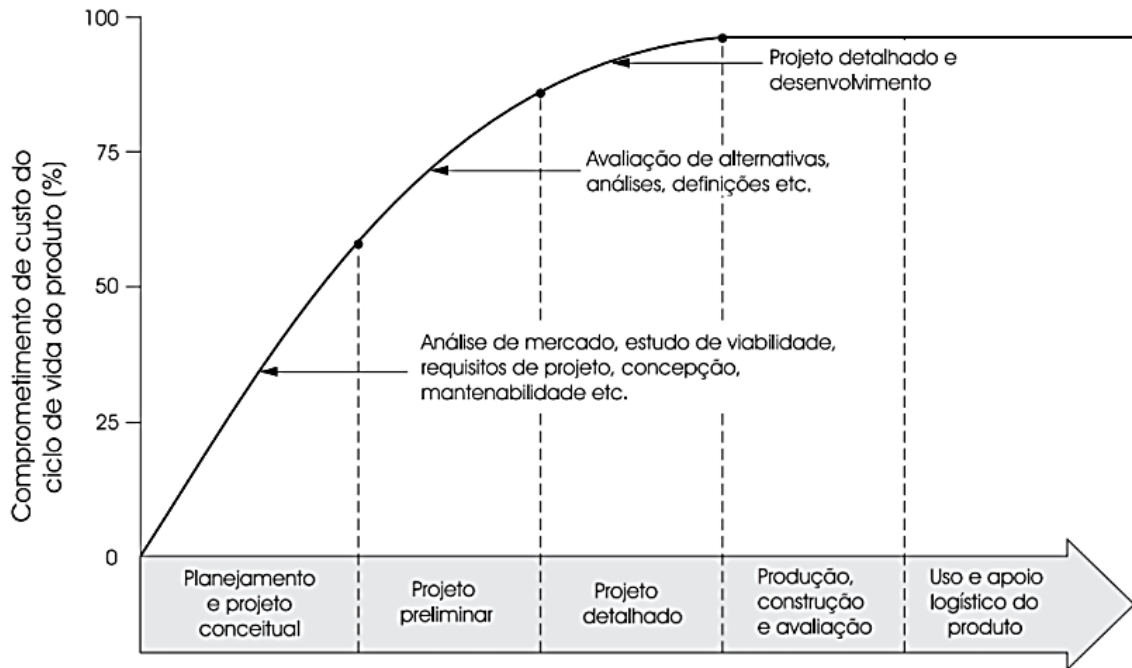
Fonte: Pahl et al. (2005, P. 12)

2.2.5 Efeitos da mudança no custo do produto

Back (2008), destaca que nos dias atuais a competitividade não se define mais por uma questão de preço do produto, e sim pela qualidade que já deve ser considerada desde o início até o descarte. Muitas vezes a qualidade fica comprometida pelo custo do produto e pelo tempo de desenvolvimento, desta forma um processo metodológico, torna mais eficiente a realização de um projeto.

A Figura 10, apresenta graficamente a relação entre o comprometimento do custo, e as primeiras fases do ciclo de vida de um produto. Conforme Downey (2008, apud BACK; 1969, P. 14), as decisões nas fases iniciais representam em torno de 70% do custo total do produto.

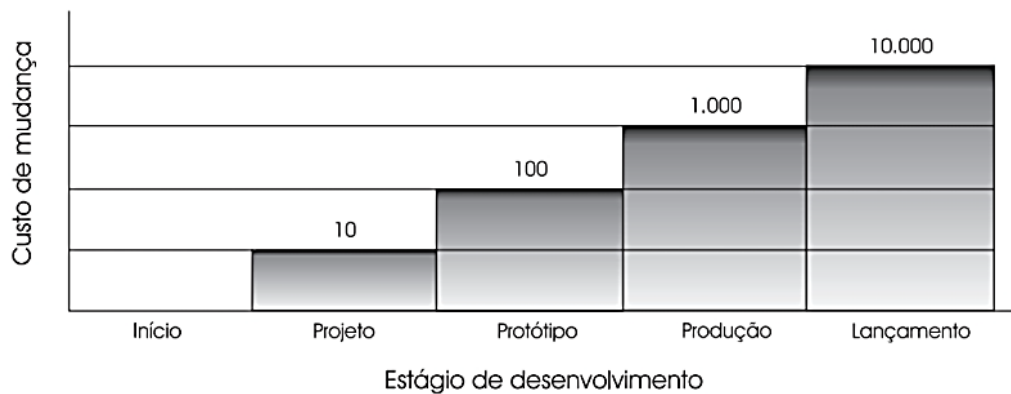
Figura 10 - Efeito das fases do ciclo de vida sobre o custo do produto



Fonte: Back (2008, P. 15)

A relevância de quatro estágios do desenvolvimento de produto, é destacada na Figura 11, onde observamos que uma mudança no produto, se necessário, tem um custo baixo no início, e vai crescente conforme o avanço do desenvolvimento do produto.

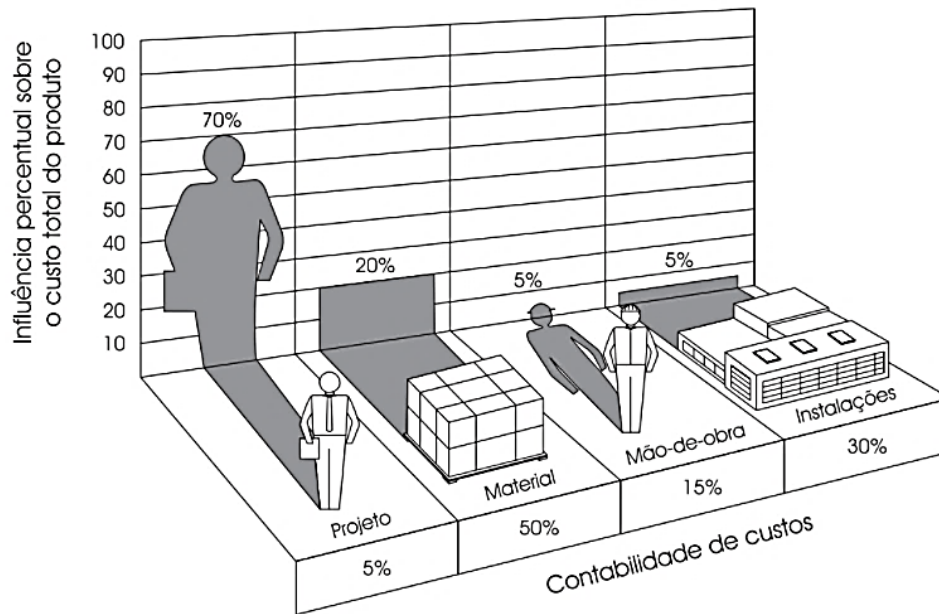
Figura 11 - Influência de alterações no produto na contabilidade de custos



Fonte: Back (2008, P. 15)

Na Figura 12, temos que o custo do projeto é 5%, mas uma tomada de decisão nesta fase afeta em 70% no custo total do produto.

Figura 12 - Influência de decisões na contabilidade de custos



Fonte: Back (2008, P. 15)

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento do dispositivo e do trabalho, foi utilizada a metodologia de gerenciamento de projetos baseado na proposta de Pahl e Beitz (2005), a partir deste, foi realizado o estudo sobre os dados, informações necessárias e variáveis envolvidas para a execução do projeto.

Para projetar o dispositivo de solda, será utilizado o software CAD (*Computer Aided Design*) Solidworks 2021, onde é possível projetar em 3D (três dimensões), todos os componentes que serão necessários para a concepção do projeto, tendo um investimento relativamente baixo. Após aprovado o projeto, serão realizados todos os detalhamentos das peças e conjuntos.

Para gerar a lista de materiais com a quantidades de cada componente, será utilizado o software Microsoft Excel.

Durante a execução, será realizado o acompanhamento do andamento do projeto, desde a compra, e chegada de matéria prima, fabricação de peças, montagem e inspeção do dispositivo pelo setor de qualidade.

A literatura deste trabalho será desenvolvida ao decorrer da construção do projeto, de acordo como descreve o cronograma das principais atividades propostas.

3.1 CONJUNTO SOLDADO

Esses conjuntos são formados por chapas, cortadas em laser, tubos, buchas usinadas, e a sua funcionalidade está relacionada a indústria de construção. Trata-se da estrutura em formato de H, denominada de braço, como exemplo na Figura 13, que é aplicada para suportar as conchas de tratores, retroescavadeiras, carregadeiras, mini carregadeiras entre outros.

Figura 13 - Exemplo do conjunto da estrutura em H da concha



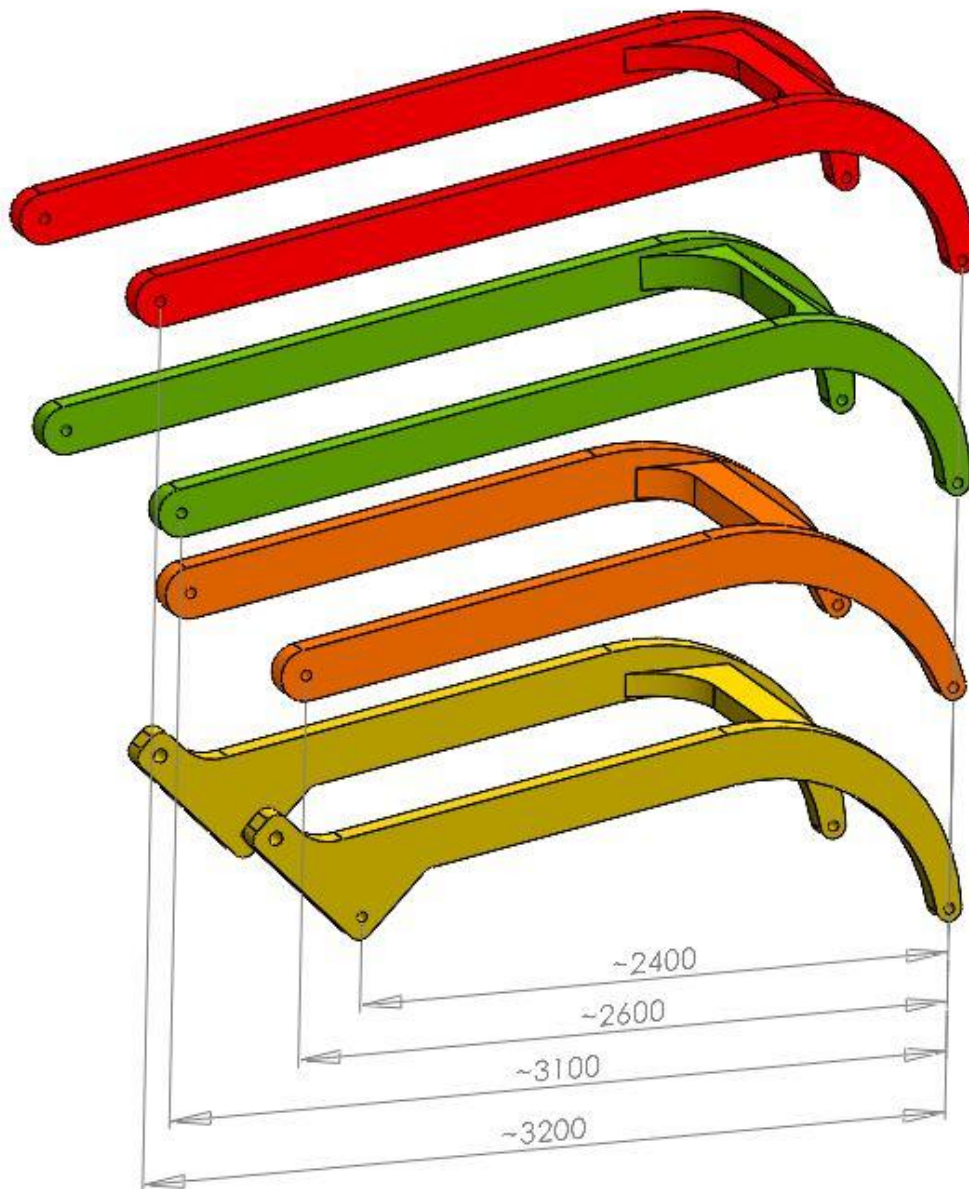
Fonte: PESA (2020)

O dispositivo deve comportar 4 modelos de conjuntos, de diferentes tamanhos, para serem soldados. Por se tratar de conjuntos grandes e pesados, o dispositivo de fixação deve ser robusto, para suportar tensões provenientes do processo de soldagem e desgaste do uso. Os conjuntos serão ponteados em um processo anterior em outro dispositivo, e passarão para este para completar a solda, num processo robotizado. Das dimensões os conjuntos variam o comprimento com medidas aproximadas de:

- Modelo A: 3250x1260 (mm)
- Modelo B: 3100x1260 (mm)
- Modelo C: 2600x1260 (mm)
- Modelo D: 2400x1260 (mm)

A Figura 14, apresenta esquematicamente e aproximadamente, as dimensões dos conjuntos.

Figura 14 - Dimensões aproximadas dos conjuntos de braços



Fonte: Autor

3.2 METODOLOGIA DE PROJETO

O conceito do dispositivo de fixação para soldagem robótica dos conjuntos destacados acima, foi desenvolvido, utilizando-se da metodologia de desenvolvimento de projeto de Pahl et al. (2005). Com ela, se definiu, o planejamento de tarefas, a lista de requisitos, funções e a criação do conceito, para posteriormente fazer a documentação e a produção do equipamento.

3.3 PLANEJAMENTO DO PRODUTO

Para o planejamento do dispositivo, utilizou-se de uma adaptação, destacada na Figura 15, da linha mestra de Pahl et al. (2005) das características para a elaboração da lista de requisitos, que não são tão óbvias, mas que proporcionam ao projetista, desenvolver um produto com maior qualidade, em conjunto com reuniões, internas e com o cliente, destacando um importante fator para o brainstorming.

Figura 15 - Linha mestra adaptada

CARACTERÍSTICAS
Geometria
Cinemática
Forças
Matéria
Segurança
Ergonomia
Produção
Transporte
Manutenção
Custos
Prazo

Fonte: adaptado de Pahl et al. (2005, P. 105)

3.4 LISTA DE REQUISITOS

Com base nas características da linha mestra adaptada apresentada anteriormente na Figura 15, foram destacados os principais requisitos para o projeto. Estes requisitos ainda foram classificados a partir da utilização da lista de requisitos de Pahl et al. (2005), sendo apresentado na tabela 1. A classificação faz referência ao grau de importância, sendo elencados pelas abreviaturas, E (exigência), que deve ser cumprido; AD (Alto desejo), onde não é obrigação possuir, mas se tem uma vontade grande; e BD (Baixo desejo), onde não é uma obrigação, mas se tem uma pequena vontade de que seja cumprido. A partir desta lista, são analisados pontos de viabilidade, e a partir destes alguns requisitos já não podem ser cumpridos, em virtude do custo aplicado ao produto.

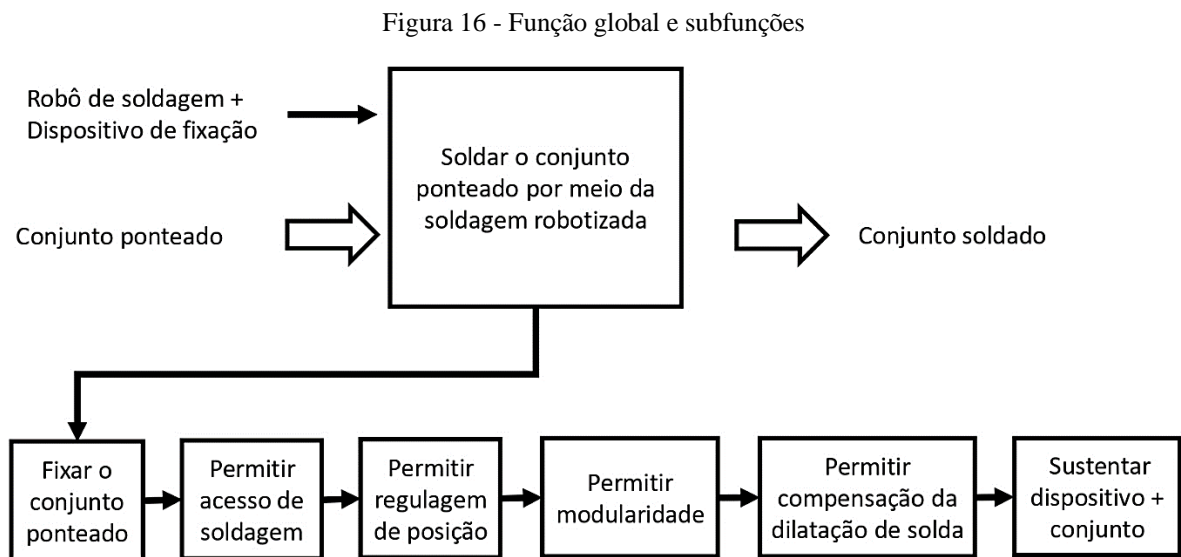
Tabela 1 – Avaliação da lista de requisitos

Linha mestra	Classificação (E/AD/BD)	REQUISITOS
Geometria	E	Comprimento do dispositivo para acoplar no robô: 4563,5 mm
	AD	Alinhar centro de massa da mesa com o centro de giro do robô
	AD	Permitir acesso para a realização da soldagem completa
	AD	Permitir rotação num raio de giro de 900 mm
	AD	Permitir sistema de ajuste em todos os eixos
Cinemática	AD	Rotação 360°
	BD	Movimento linear para adequar os 4 modelos
Forças	E	Capacidade do robô: 3000 kg
	AD	Massa máxima dos conjuntos: 400 kg
Matéria	AD	Encostos sujeitos a desgaste em material SAE 1045 temperado
	E	Buchas roscadas em material VC-131 temperado
	E	Peças sem têmpera, pintados de laranja
	BD	Equipamento de proteção em amarelo segurança
Segurança	E	Atender normas regulamentadoras
Ergonomia	E	Atender norma regulamentadora
	E	Prever olhais para içamento
Produção	AD	Permitir rápido <i>setup</i>
Transporte	AD	Limitação empilhadeira de 3000 kg
	E	Caminhão transportador deve atender as dimensões
	E	Movimentação deve prever olhais de içamento
Manutenção	AD	Permitir componentes de desgaste montados, para substituição
Custos	AD	Atender aos custos de estipulados no planejamento
Prazo	AD	Atender aos prazos de desenvolvimento e produção
	E	Atender ao prazo de entrega estipulado pelo cliente

Fonte: Autor (2021)

3.5 CONCEPÇÃO

A próxima fase da metodologia de Pahl et al. (2005), define a função global do produto e as subfunções que o mesmo necessita para atender aos requisitos que foram avaliados na tabela 1. Na Figura 16, mediante a utilização de um diagrama de blocos, foram destacados por inter-relações, os dados de entrada e o que se pretende na saída, resultando na função global do projeto que consiste em soldar quatro modelos de conjunto “H”, por meio de soldagem robotizada. Desmembrando a função global obtemos as subfunções que são necessárias para atender os requisitos estabelecidos anteriormente.






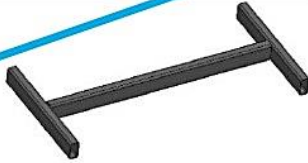
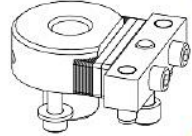

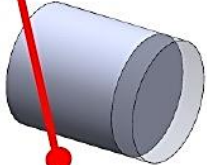
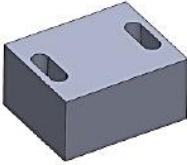
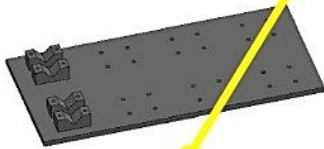
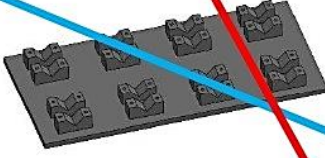


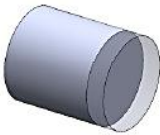


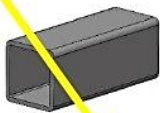
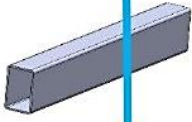
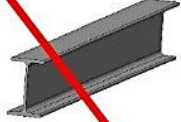


Fonte: adaptado de Pahl et al. (2005, P. 121)

3.6 VARIANTES DA SOLUÇÃO

Na busca pelas soluções Pahl et al. (2005), descreve que se deve priorizar as funções que foram destacadas na função global, e numa matriz morfológica, relacionar funções com princípios de solução e suas características. Na Figura 17, a matriz morfológica apresenta os princípios de solução para cada função. A interligação entre estes princípios, determinará uma possível estrutura de funcionamento como solução global. A avaliação das combinações normalmente será feita com base em critérios técnicos, ou seja, o que melhor atender aos requisitos, e também econômico, que tem um custo benefício adequado ao projeto, e assim comparar ambos e analisar quais são mais favoráveis para a continuação do desenvolvimento.

Figura 17 - Matriz morfológica

Subfunção	Solução			
Fixar o conjunto	Grampos rápidos	Grampos pneumáticos	Grampos hidráulicos	Garras e tirantes
				
Permitir Acesso de soldagem	Estrutura quadrada		Estrutura central	
				
Permitir regulagem de posição	<i>Shim pack</i> (CJ de chapas)	Parafusos e contrapercas	Encostos ajustados com usinagem	Peças com oblongos
				
Permitir modularidade	Prismas móveis		Prismas fixos	Guia linear
				
Permitir compensação da dilatação de solda	Encostos/eixos com regulagem	Encostos com sobremetal	Bases ajustáveis	
				
Sustentar dispositivo + conjunto	Tubo redondo	Tubo quadrado	Tubo retangular	Viga
				
		V2	V1	V3

Fonte: autor (2021)

As soluções destacadas na matriz morfológica foram combinadas de maneira intuitiva, para se obter três soluções globais para concretização. De acordo com Pahl et al. (2005), a compatibilidade entre as subsoluções interligadas, deve seguir um fluxo de energia, matéria e informação, que sejam vantajosas, do ponto de vista técnico e econômico. Assim foram traçadas linhas na matriz para apresentar as soluções globais versão 1, 2 e 3.

3.7 CONCEPÇÃO PRÉVIA DO PRODUTO

As soluções globais das versões 1, 2 e 3, foram avaliadas pela lista de seleção, como apresenta a tabela 2, com base nos critérios de atender aos requisitos estabelecidos, ter fácil fabricação, estar dentro do custo estipulado pela empresa, e atender ao prazo de entrega estabelecido pelo cliente.

Tabela 2 – Lista de seleção da solução global

Lista de seleção de soluções					
Solução atende (+) = Prosseguir com o desenvolvimento					
Solução não atende (-) = Descartar solução					
Faltam informações (?) = conseguir informações					
	Foram atendidos os requisitos?				
		Fácil fabricação?			
			Está dentro do custo?		
				Dentro do prazo de entrega?	
	A	B	C	D	Decisão
Versão 1	+	+	-	+	+
Versão 2	-	+	+	+	-
Versão 3	-	+	-	-	-

Fonte: autor (2021)

Avaliando as versões obtidas na matriz morfológica podemos destacar as algumas observações. A versão 2, se trata de um dispositivo simples, de fácil fabricação e baixo custo, e alguns pontos observados foram:

- Prismas com a necessidade de *setup*, prejudicam o tempo de processo do cliente, e proporcionam a chance de erros;
- A estrutura quadrada, de acordo com a simulação realizada pelo cliente, não proporciona acesso para soldagem;
- Possui sistema de ajuste por parafusos e contraporcas, entretanto é um sistema de ajuste mais frágil, o que não é adequada para esta aplicação;
- O tubo quadrado não proporciona uma resistência adequada, pois o comprimento é de pelo menos 4500 mm, e para ter uma inércia adequada, necessitaria um tubo de perfil maior do que quando comparado ao retangular, implicando no acesso a soldagem e no custo do tubo.

A versão 3, se trata de um dispositivo um pouco mais elaborado, com a fabricação fácil, mas com custo mais elevado, foram destacados os pontos:

- A fixação utilizando grampos pneumáticos, tornaria o projeto mais caro, além de necessitar do projeto pneumático;
- A estrutura central do chassi do dispositivo, conforme simulação do acesso de solda pelo robô do cliente, irá apresentar a melhor configuração;
- Encostos ajustados por usinagem são uma boa alternativa, mas são definitivos, pode-se reduzir a dimensão da peça, mas para aumentar, muitas vezes é necessário fabricar uma peça nova;
- Prismas fixos, são uma alternativa para reduzir o tempo de *setup*, mas em consequência aumentam a quantidade de material, usinagem, têmpera, e implicam no tempo para a entrega;
- Bases ajustáveis em duas direções são boas alternativas para ajustar variações de processo.

A versão 1 é intermediária entre as anteriores, mesmo assim, o custo está acima do que foi proposto. Como pode se observar, é a única que conseguiu atender pelo menos os requisitos exigidos pelo cliente.

- A fixação é feita por meio de garras e tirantes;

- Estrutura central permite acesso para soldagem, e é feita utilizando tubos retangulares;
- Regulagem de posição consiste numa bucha com ajuste por calços, sendo prático e robusto;
- A modularidade, utiliza guias lineares e as buchas de posição destacadas no item anterior para atender aos quatro modelos;
- Bases ajustáveis compensam as variações de fabricação do dispositivo;

Apesar de um empate entre as versões 1 e 2, a definição pelo conceito da versão 1, se deu em virtude de atender todos os requisitos, ter um custo benefício mais adequado para solucionar a tarefa, apresentando um produto robusto, eficiente e ao mesmo tempo, sendo de fácil fabricação.

Com base na metodologia de Pahl et al. (2005), o conceito foi definido, e partiu-se para uma concepção 3D prévia do produto, como segue na Figura 18, utilizando o software de desenho assistido por computador Solidworks 2021.

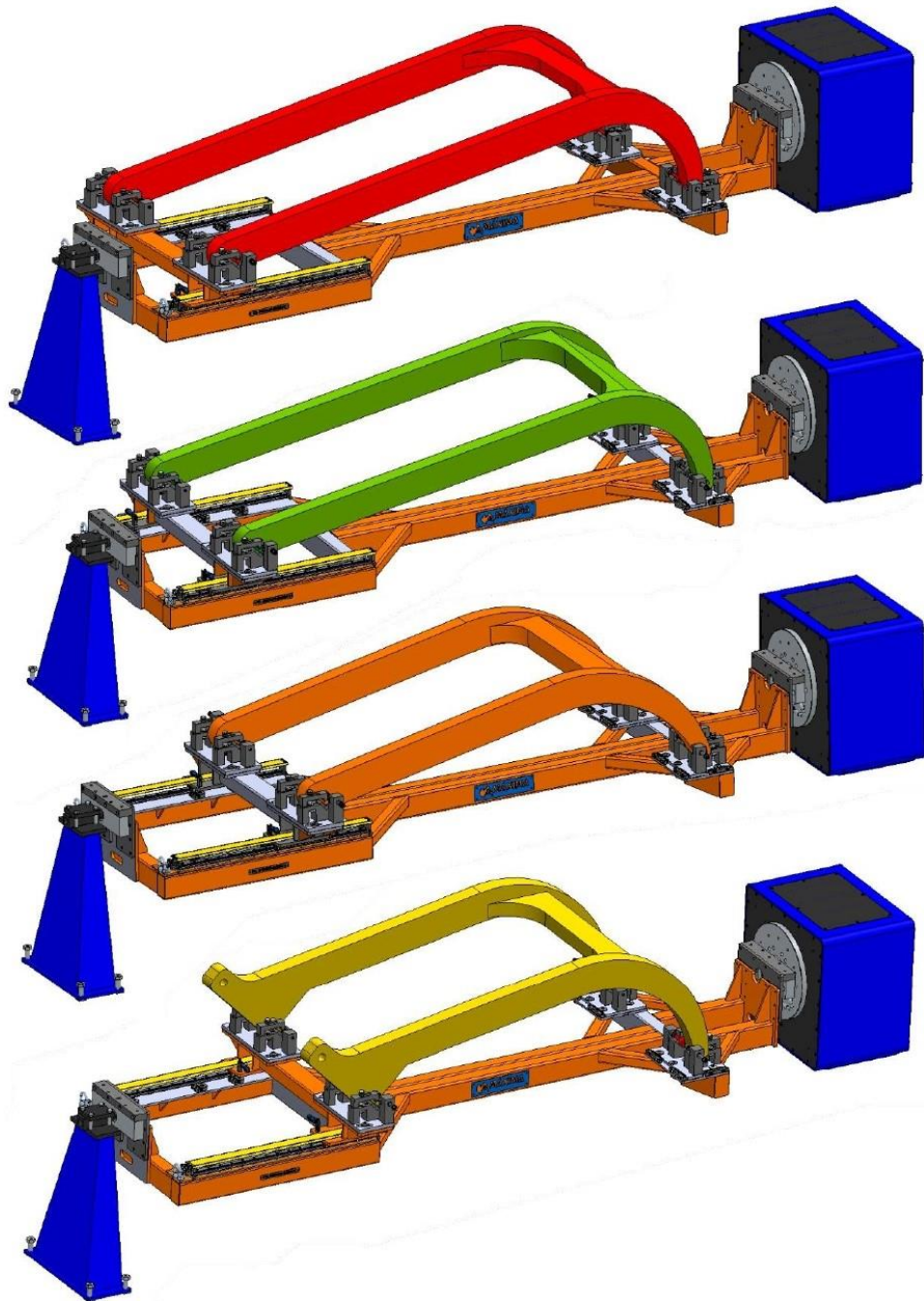
Figura 18 - Concepção de versão prévia



Fonte: autor (2021)

A Figura 19, apresenta o esboço dos quatro conjuntos de braços acoplados ao dispositivo, mostrando a fixação e a modularidade para adequação de todos os modelos.

Figura 19 - Acoplamento dos conjuntos de braços ao dispositivo



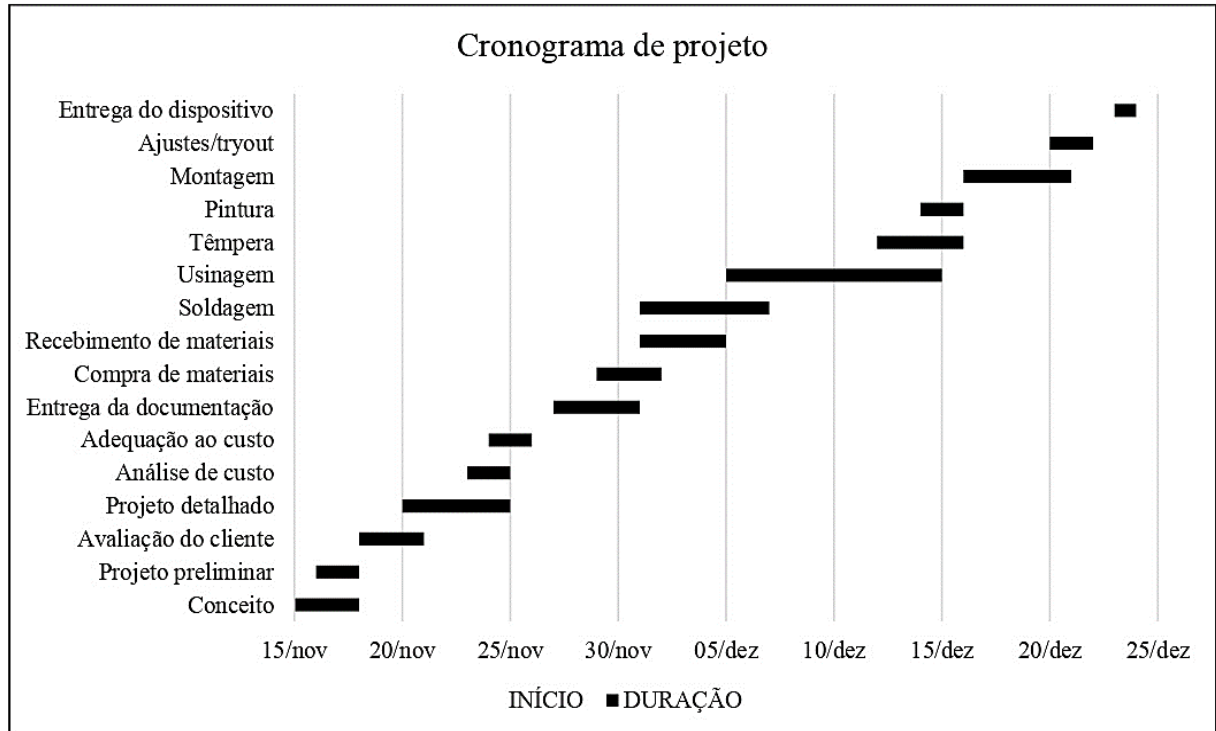
Fonte: autor (2021)

3.8 DEFINIÇÃO DO CRONOGRAMA DE PROJETO

Para a elaboração e execução do projeto do dispositivo, foi estabelecido um cronograma, baseado na engenharia simultânea, onde as atividades são realizadas paralelamente, com o objetivo de reduzir o tempo de produção, tendo como base da empresa, quarenta e cinco dias

após o fechamento do pedido, para realizar a entrega do dispositivo. Com isso, a Figura 20, apresenta o cronograma criado com as tarefas em função do tempo.

Figura 20 - Cronograma de projeto



Fonte: autor (2021)

3.9 CODIFICAÇÃO DO PROJETO

A empresa Máxima Tecnologia industrial, utiliza como base um código formado por cinco blocos, como exemplo o código do dispositivo em questão, MXBR01M01 (MX;BR;01;M;01):

- 1° Bloco - MX – Padrão;
- 2° Bloco - BR – Cliente, neste caso, Bruning Tecno Metal;
- 3° Bloco - 01 – Código do projeto;
- 4° Bloco - Identificação por P (peça), S (soldado), ou M (montado);
- 5° Bloco - Sequência de código por numeração.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a aplicação da metodologia de projeto de Pahl et al. (2005), foi definido o conceito do produto, e neste capítulo do trabalho, são apresentadas as formulações do projetista para solucionar as solicitações do cliente, e questões de viabilidade, podendo fundamentar de uma melhor maneira a construção do equipamento.

4.1 PROJETO DO DISPOSITIVO

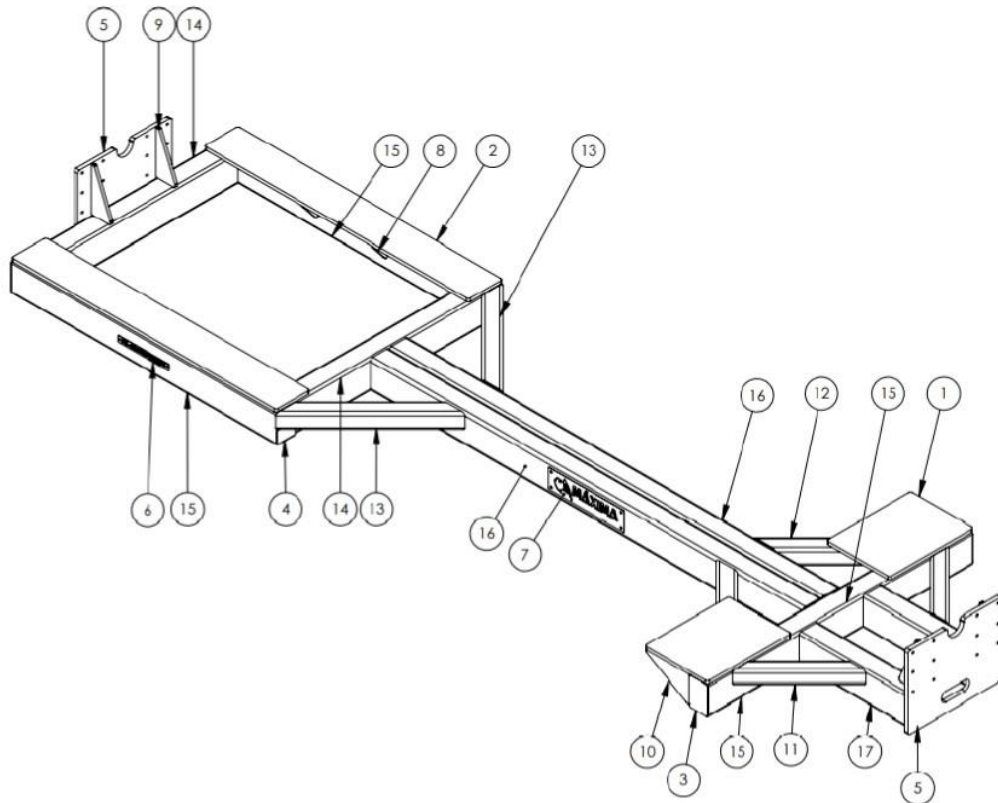
O conjunto montado final, denominado pai e codificado com MXBR01M01 do dispositivo, consiste em subconjuntos mostrados no desenho técnico da Figura 21, que serão explicados no decorrer do trabalho, mostrando o funcionamento e as decisões pelas alterações necessárias para a adequação ao custo, sendo basicamente oito subconjuntos:

1. Conjunto soldado e usinado do chassi;
2. Conjunto montado de eixos;
3. Conjunto montado dos blocos com regulagem;
4. Conjunto móvel soldado e usinado;
5. Conjunto montado dos blocos com sistema giratório;
6. Conjunto montado de guias lineares;
7. Conjunto montado de buchas para posicionamento;
8. Conjuntos montado de fixação no robô.

excessiva, com isso é possível reduzir a espessura das chapas (redução de 20 kg de chapa) e consequentemente do tempo de usinagem, a estimativa de redução de custo do chassis essas alterações fica em torno de 10 até 20 por cento.

O chassis soldado é composto por chaparia e tubulação. Abaixo segue a Figura 22, contendo os balões de posição dos componentes e a referência na tabela dos materiais.

Figura 22 - Conjunto soldado do chassis

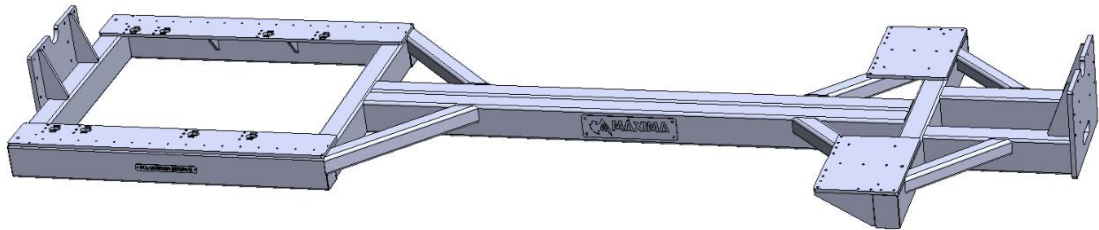


17	2	MXBR01P70	TUBO RET 150X100x6,35x590	ASTM A-36	13.61
16	2	MXBR01P03	TUBO RET 150X100x6,35x2290	ASTM A-36	52.25
15	3	MXBR01P02	TUBO RET 150X100x6,35x1400	ASTM A-36	32.30
14	2	MXBR01P10	TUBO RET 150X100x6,35x1000	ASTM A-36	23.07
13	2	MXBR01P01	TUBO QUAD 80x80x4,75x710X45°	ASTM A-36	6.64
12	2	MXBR01P69	TUBO QUAD 80x80x4,75x650X45°	ASTM A-36	6.01
11	2	MXBR01P73	TUBO QUAD 70x70x4,75x500X45°	ASTM A-36	3.89
10	4	MXBR01P09	CH MÃO FRANCESA 230X140X#12,7	AÇO SAE 1010/1020	1.88
9	4	MXBR01P65	CH MÃO FRANCESA 230X100X#12,7	AÇO SAE 1010/1020	1.39
8	4	MXBR01P57	CH MÃO FRANCESA 100X80X#12,7	AÇO SAE 1010/1020	0.39
7	2	MXBR01P05	CH ID MÁXIMA 400X100X#1,9	AÇO SAE 1010/1020	0.46
6	2	MXBR01P12	CH ID COD CLIENTE #1,9	AÇO SAE 1010/1020	0.10
5	2	MXBR01P64	CH FLANGE A 500X350X#19,05	AÇO SAE 1010/1020	27.04
4	2	MXBR01P72	CH FECHAMENTO TUBO 96X66#3	AÇO SAE 1010/1020	0.15
3	4	MXBR01P63	CH FECHAMENTO TUBO 146X96#3	AÇO SAE 1010/1020	0.33
2	2	MXBR01P11	CH BASE GUIAS 1400X180X#15,88	AÇO SAE 1010/1020	31.60
1	2	MXBR01P04	CH BASE BLOCOS 445X333X#15,88	AÇO SAE 1010/1020	18.58
POS.	QDT.	REFERÊNCIA	DENOMINAÇÃO	MATERIAL	PESO

Fonte: autor (2021)

Após a soldagem e desempenho do chassi, ele será encaminhado para procedimento de usinagem, para realizar faceamento e furações necessárias para a montagem, conforme projeto da Figura 23.

Figura 23 - Conjunto usinado do chassi



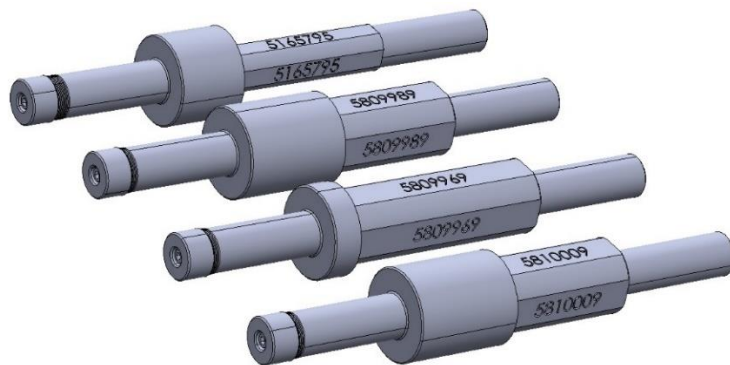
Fonte: autor (2021)

4.1.2 Conjunto montado de eixos

Em ambas as pontas dos braços que serão soldados no dispositivo, existem buchas com pré-furos, nestes furos são inseridos os eixos para que possa ser feita a fixação dos braços ao dispositivo.

Os eixos da Figura 24, são conjuntos montados de uma bucha de encosto, chapas de ajuste, e o eixo que é usinado em material SAE 1045 com diâmetro de 63,5 mm, o formato facetado permite uma colocação e extração com menor atrito do eixo na bucha do conjunto dos braços. São cinco pares de eixos, sendo no lado fixo, um par para todos os braços, e no lado móvel, um par para cada braço, em virtude do diâmetro diferente das buchas e pré abertura diferente em cada braço.

Figura 24 - Conjunto montado dos eixos

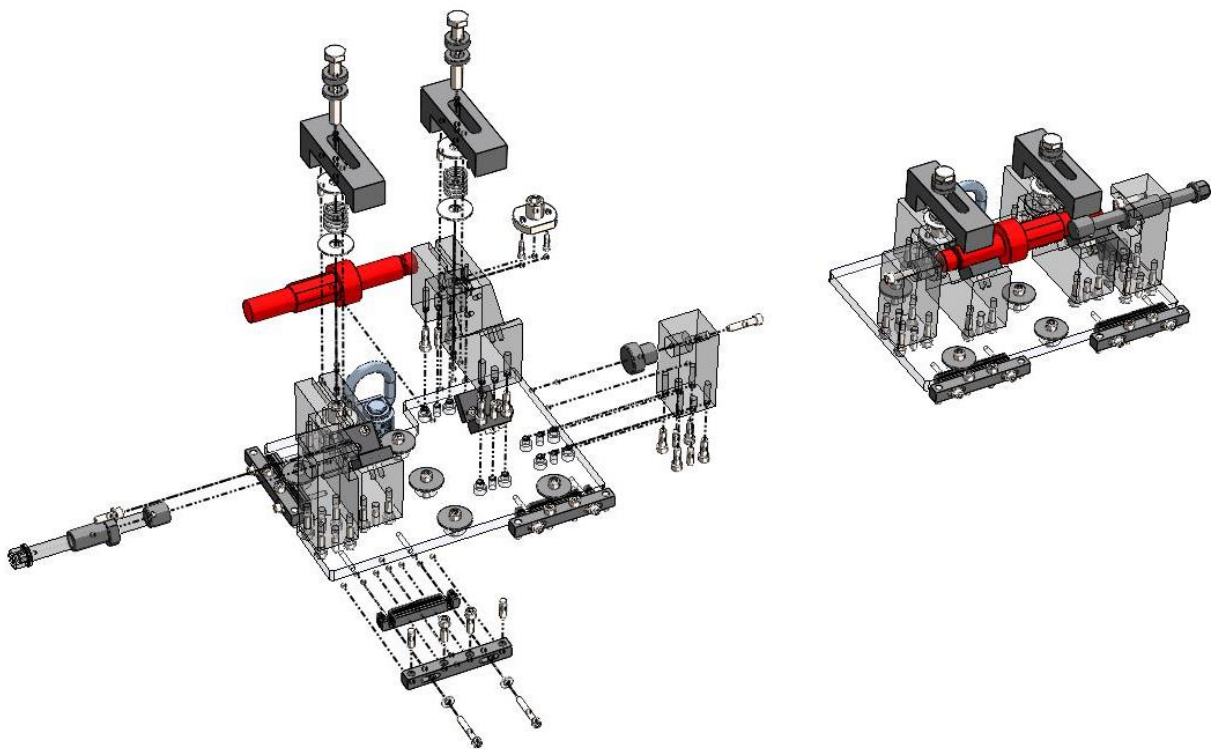


Fonte: autor (2021)

4.1.3 Conjunto montado dos blocos com regulagem

O lado do dispositivo com o conjunto de regulagem (Figura 25), consiste em blocos no formato de prisma utilizados para centralizar os eixos descritos anteriormente, um bloco para encosto lateral e outro bloco para aprisionar uma bucha roscada, e nesta um tirante roscado fará o aperto dos braços contra o encosto. Acima dos prismas, o sistema de fixação utilizado para pressionar os eixos é por meio de garras e parafusos com uma mola para fazer o retorno.

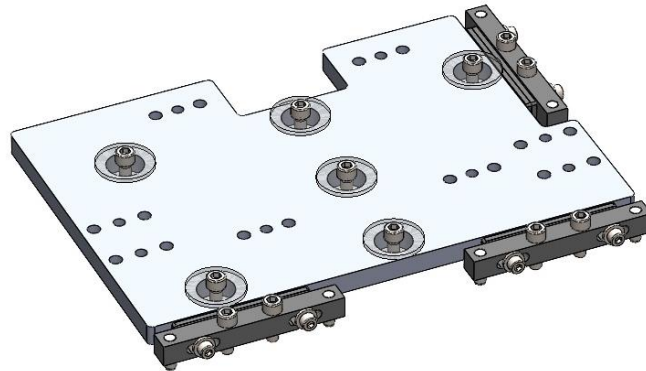
Figura 25 - Conjunto montado dos blocos com regulagem



Fonte: autor (2021)

Os componentes descritos acima são montados na chapa base da Figura 26. Essa chapa possui furos com diâmetro maior que o parafuso, cortados diretamente no corte térmico, e arruelas grandes, permitindo um deslocamento da chapa no plano. Para travar a chapa base na posição desejada, se utilizam calços de chapa de pequena espessura (denominados *Shim pack*), entre os pontos fixos e a chapa móvel, após aperta-se os parafusos travando a posição. No projeto foram utilizados calços com chapas de 0,75 mm e de 4,75 mm para realizar estes ajustes.

Figura 26 - Conjunto montado dos eixos

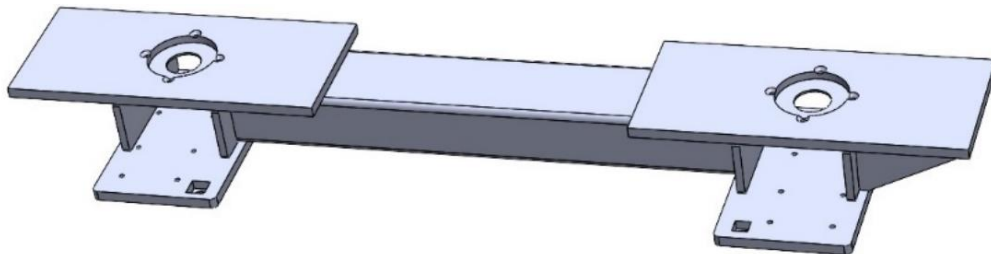


Fonte: autor (2021)

4.1.4 Conjunto móvel soldado e usinado

Este conjunto é responsável por estruturar a montagem do sistema móvel do dispositivo, que permite a modularidade de adequar quatro modelos de braços. Inicialmente o projeto consistiu conforme a Figura 27, onde no processo de usinagem, seria faceado a região inferior e superior e na parte central das duas chapas, era necessário usinar um rebaixo para montar buchas.

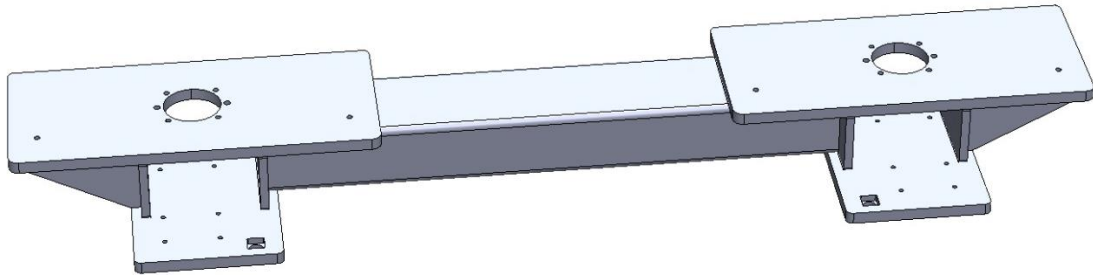
Figura 27 - Conjunto Móvel Inicial



Fonte: autor (2021)

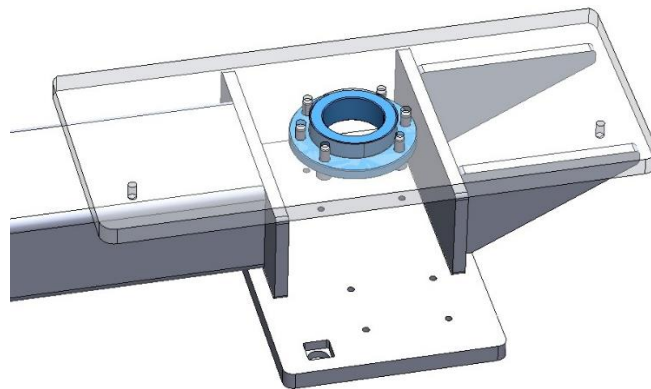
Após o orçamento da usinagem, verificou-se que os rebaixos tornariam o custo de usinagem elevado. Portanto, foi necessário elaborar alterações para reduzir este custo. A solução encontrada (Figura 28), foi eliminar o rebaixo, fazer os furos cortados no corte térmico e utilizar pinos guia para posicionar a bucha, como mostra a Figura 29. Essa simples alteração reduziu cerca de 30 por cento o custo da usinagem do conjunto.

Figura 28 - Conjunto Móvel Final



Fonte: autor (2021)

Figura 29 - Posicionamento da Bucha



Fonte: autor (2021)

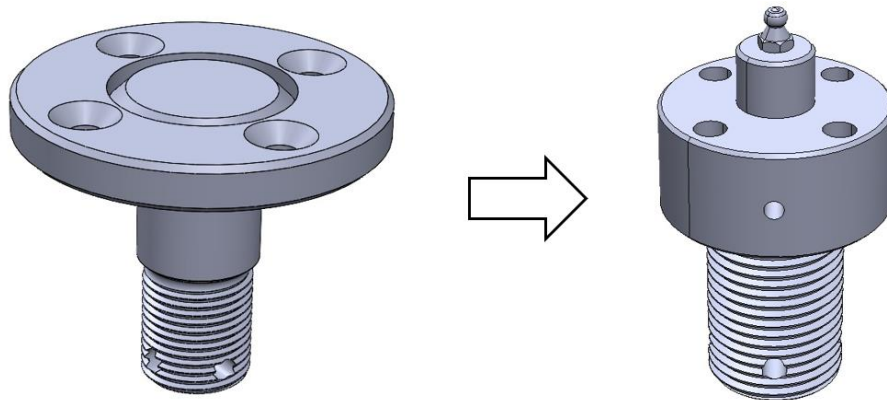
4.1.5 Conjunto montado dos blocos com sistema giratório

O conjunto montado de blocos com sistema giratório, é basicamente o mesmo que o destacado no item 4.1.3, entretanto o que diferencia ambos, é que ao invés do sistema de regulagem de posição, este, apresenta um sistema de giro para trabalhar o ângulo de abertura dos braços.

O cliente, por meio de software, realizou simulação do comportamento dos conjuntos após a soldagem, chegando na conclusão de que, os braços contraem fazendo o fechamento. Desta maneira o ajuste nos eixos do dispositivo, deve permitir com que os braços sejam posicionados de forma aberta, e isto gera uma variação no ângulo de abertura que deve ser absorvido no sistema de giro.

Inicialmente o sistema giratório foi projetado com um eixo composto por duas peças, que eram soldadas e usinadas posteriormente, porém o processo era complexo, e foi alterado para uma peça única mais simples e com graxeira para lubrificação, como destaca a Figura 30.

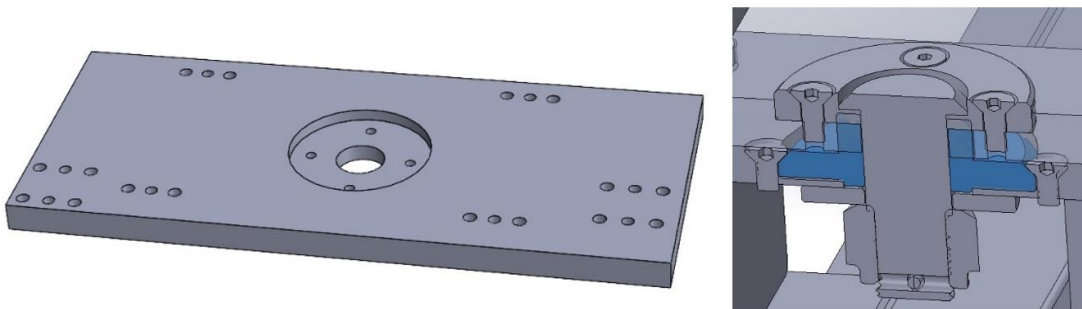
Figura 30 - Simplificação do eixo



Fonte: autor (2021)

A chapa base inicialmente foi projetada com um rebaixo na parte de cima como mostra a Figura 31, que era usado para guiar o eixo, e no lado de baixo, possuía os rebaixos para a cabeça dos parafusos, sendo assim, é necessário virar a chapa para fazer todos os procedimentos de usinagem, tornando o processo mais complexo tendo a necessidade de zerar o centro de usinagem duas vezes, elevando o tempo e custo de usinagem. Para a montagem final, uma bucha é guiada nos rebaixos do conjunto móvel, e nela são montados a chapa mais o eixo, e o travamento por baixo, é feito com arruela, porca do tipo castelo e contrapino.

Figura 31 - Projeto inicial chapa base + montagem inicial do sistema de giro

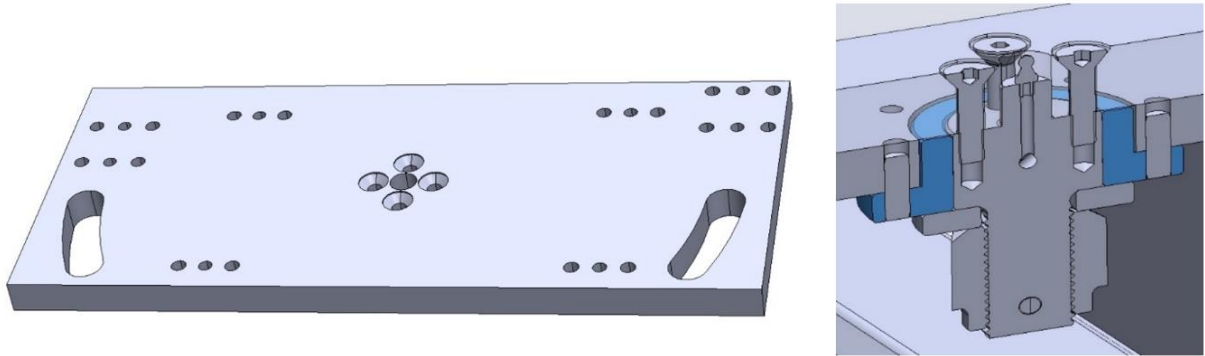


Fonte: autor (2021)

Em virtude do rebaixo era preciso um centro de usinagem para produzir a peça, sendo assim uma simplificação, consistiu em manter todas as furações do mesmo lado, e remover o rebaixo para o eixo, como mostra a Figura 32. Agora o eixo passa a ser guiado por um furo guia pequeno no centro da chapa e a fixação ocorre com quatro parafusos de cabeça chata. Na parte inferior a fixação permanece da mesma forma, utilizando arruela, porca do tipo castelo e contrapino. O oblongo curvado é cortado diretamente no corte térmico, servindo como um

limitador para o giro do conjunto. Com a construção da peça desta forma, é possível fabricá-la em uma fresa, reduzindo o custo de usinagem em 50 por cento.

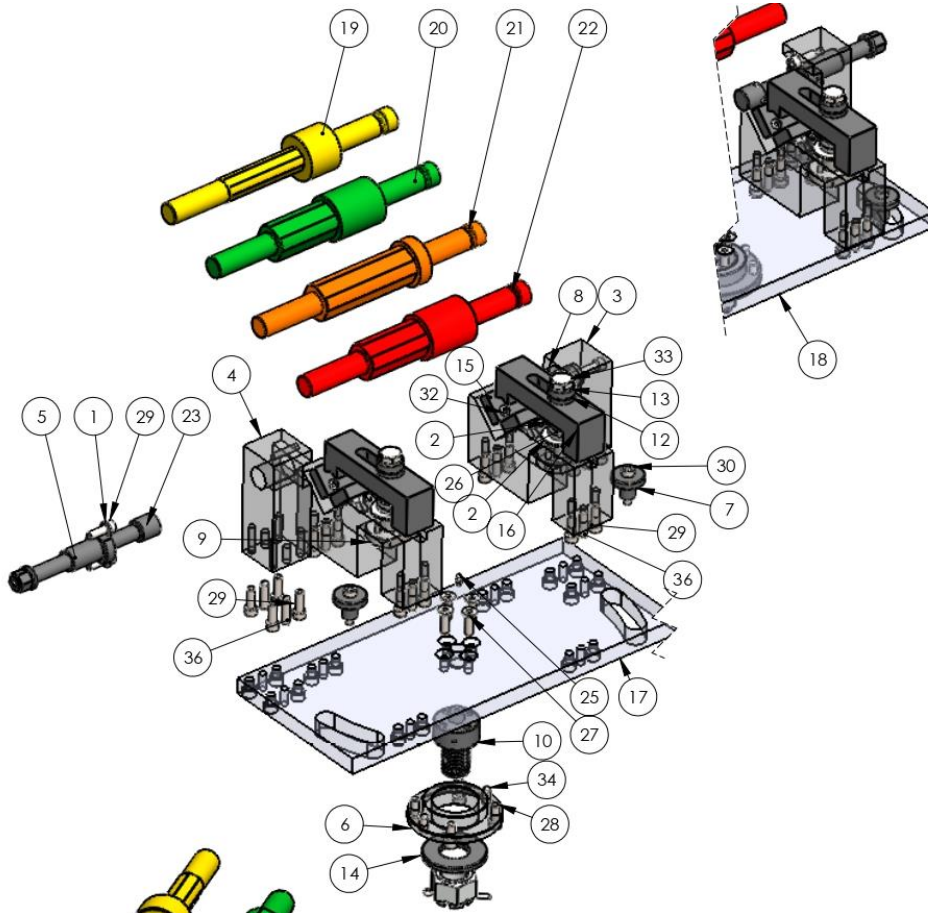
Figura 32 - Projeto final chapa base + montagem final do sistema de giro



Fonte: autor (2021)

Abaixo na Figura 33, vemos uma vista explodida do conjunto giratório.

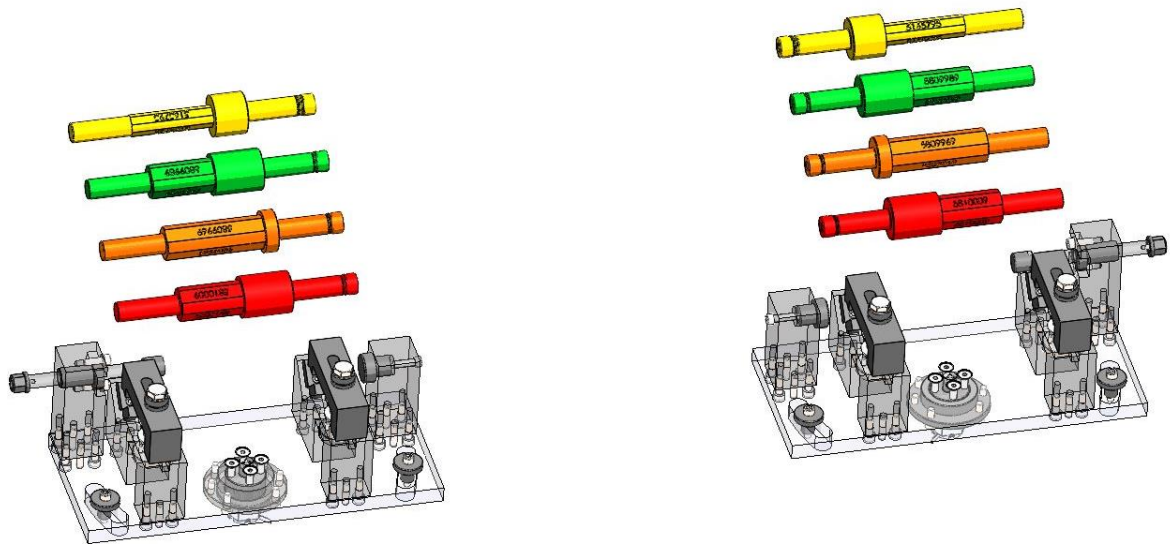
Figura 33 - Vista explodida do conjunto giratório final



Fonte: autor (2021)

A montagem 3D do conjunto giratório segue conforme a Figura 34.

Figura 34 - Conjunto giratório montado

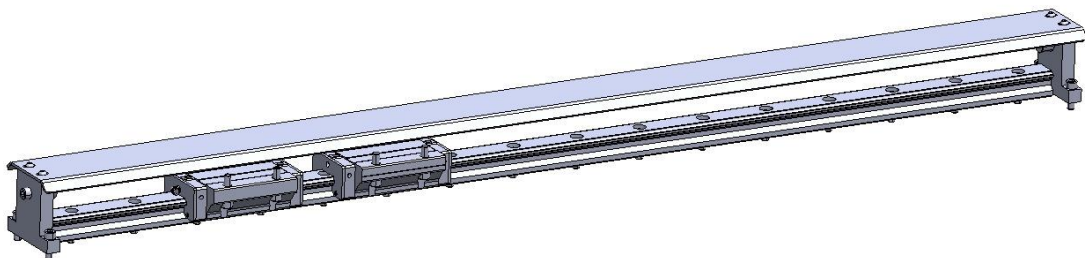


Fonte: autor (2021)

4.1.6 Conjunto montado de guias lineares

Os guias lineares são responsáveis por fazer o deslocamento linear e como o próprio nome já diz, guiar esse movimento, garantindo precisão. A Figura 35 mostra a montagem desse subsistema, que basicamente é composta por um trilho, e carros que possuem rolamentos para reduzir o atrito durante o deslocamento. Os carros não podem sair desse trilho, justamente para que os rolamentos não caiam fora do carro, com isso foram projetados batentes em cada uma das pontas do trilho para fazer a limitação do curso. Uma chapa na parte de cima do trilho serve como uma forma de proteção contra os respingos de solda provenientes do processo de soldagem dos braços.

Figura 35 - Conjunto de guias lineares

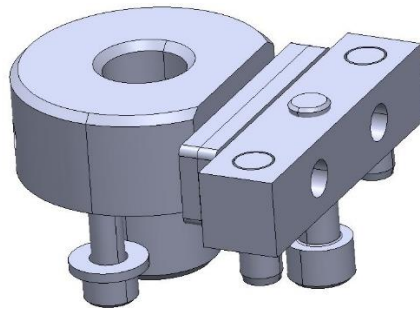


Fonte: autor (2021)

4.1.7 Conjunto montado de buchas para posicionamento

O dispositivo abrange quatro modelos de braços, com tamanhos diferentes, sendo assim, o conjunto móvel que é montado acima dos carros dos guias lineares, precisa ser posicionado em quatro pontos. Para isto, foi projetado um conjunto contendo um aço quadrado fixo e uma bucha com ajuste de posição de dez milímetros para mais e para menos, utilizando calços de chapa para ajustar o posicionamento da bucha, como segue a Figura 36.

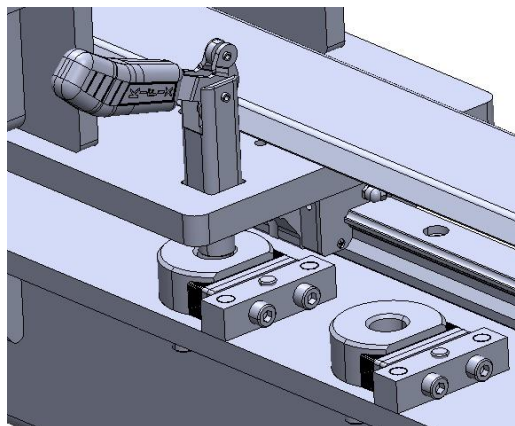
Figura 36 - Conjunto Bucha de posicionamento



Fonte: autor (2021)

O conjunto móvel que se desloca sobre os carros dos guias lineares, possui dois grampos manuais do tipo torpedo, montado um em cada lado, no sentido axial das buchas. Na ponta deste grampo é parafusado um aço redondo e chanfrado, desta maneira, deslocamos o conjunto móvel até a posição desejada e pressionamos o grampo para fazer o acoplamento/travamento entre a bucha e o aço redondo da ponta do grampo, como mostrado na Figura 37. Conseqüentemente todo o conjunto móvel tem o posicionamento definido.

Figura 37 - Sistema de travamento do conjunto móvel

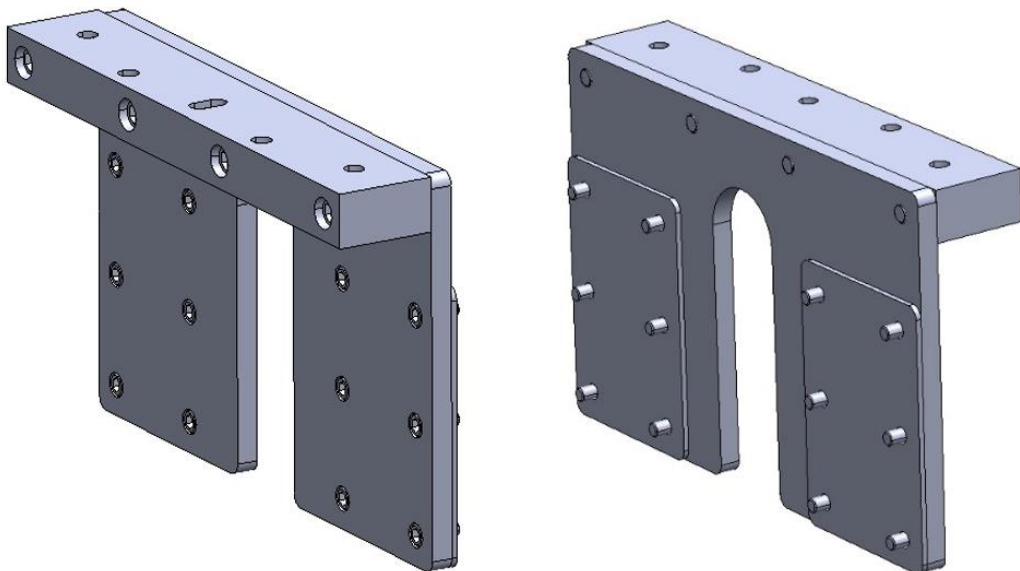


Fonte: autor (2021)

4.1.8 Conjunto montado de fixação no robô

O dispositivo precisa ser montado no robô, e essa fixação é feita pelas extremidades do dispositivo. Em ambos os lados do chassis visto na Figura 23, existem chapas que tem a funcionalidade de uma flange, e nelas são montadas os conjuntos da Figura 38. Esses conjuntos tem a finalidade de ajustar o comprimento e adequá-lo ao robô por meio de chapas de sacrifício, ou seja são faceadas se necessário, e os blocos na parte superior fazem o apoio nas torres do robô, como mostrado na Figura 18, posicionados por um guia em cada lado e parafusos para aperto.

Figura 38 - Conjunto montado de fixação no robô



Fonte: autor (2021)

4.1.9 Detalhamento final e produção

Após todo o desenvolvimento do projeto e aprovação do cliente, é necessário finalizar todo o detalhamento, e gerar todos os documentos necessários para o encaminhamento da produção do dispositivo, como exemplo, os desenhos 2D e 3D quando necessário para a programação da usinagem, arquivos para corte de chapas, lista de materiais, com código, descrição, quantidade, material e informações necessárias para realizar a compra.

A lista de materiais é dividida em cinco grupos, sendo eles, chapas, tubos, aço redondo e quadrado, componentes de fixação, adereços e blocos. Abaixo na Figura 39, temos a lista de chapas.

Figura 39 - Lista de chapas

QDT.	REFERÊNCIA	DENOMINAÇÃO	ESPESSURA	MATERIAL	PESO
150	MXBR01P52	CH ARRUELA AJUSTE M6X30X#0,75	0,75	AÇO SAE 1010/1020	0
120	MXBR01P58	CH AJUSTE MENOR #0,75	0,75	AÇO SAE 1010/1020	0,01
90	MXBR01P49	CH AJUSTE MAIOR #0,75	0,75	AÇO SAE 1010/1020	0,01
2	MXBR01P12	CH ID COD CLIENTE #1,9	1,9	AÇO SAE 1010/1020	0,08
2	MXBR01P05	CH ID MÁXIMA 400X100X#1,9	1,9	AÇO SAE 1010/1020	0,46
2	MXBR01P54	CH PROTEÇÃO TRILHOS 1320X99X#3	3	AÇO SAE 1010/1020	3,11
2	MXBR01P72	CH FECHAMENTO TUBO 96X66#3	3	AÇO SAE 1010/1020	0,15
4	MXBR01P63	CH FECHAMENTO TUBO 146X96#3	3	AÇO SAE 1010/1020	0,33
12	MXBR01P44	CH ARRUELA Ø50XØ11X#3,75	3,75	AÇO SAE 1045	0,06
4	MXBR01P71	CH ESPAÇADORA 230X160X#4,75	4,75	AÇO SAE 1010/1020	1,34
16	MXBR01P59	CH AJUSTE MENOR #4,75	4,75	AÇO SAE 1010/1020	0,04
12	MXBR01P48	CH AJUSTE MAIOR #4,75	4,75	AÇO SAE 1010/1020	0,07
2	MXBR01P45_01	CH ARRUELA Ø85XØ38X#8	8	AÇO SAE 1010/1020	0,28
8	MXBR01P26	CH ARRUELA Ø35XØ17X#8	8	AÇO SAE 1045	0,04
4	MXBR01P09	CH MÃO FRANCESA 230X140X#12,7	12,7	AÇO SAE 1010/1020	1,88
4	MXBR01P65	CH MÃO FRANCESA 230X100X#12,7	12,7	AÇO SAE 1010/1020	1,39
4	MXBR01P55	CH MÃO FRANCESA 180X100X#12,7	12,7	AÇO SAE 1010/1020	1,1
4	MXBR01P57	CH MÃO FRANCESA 100X80X#12,7	12,7	AÇO SAE 1010/1020	0,39
8	MXBR01P27	CH ARRUELA Ø37X17X#12,7	12,7	AÇO SAE 1045	0,07
4	MXBR01P07	CH 240X100X#12,7	12,7	AÇO SAE 1010/1020	2,41
4	MXBR01P61_01	CH BATENTE GUIA e SUPORTE #15,88	15,88	AÇO SAE 1010/1020	0,59
2	MXBR01P11	CH BASE GUIAS 1400X180X#15,88	15,88	AÇO SAE 1010/1020	31,6
2	MXBR01P04	CH BASE BLOCOS 445X333X#15,88	15,88	AÇO SAE 1010/1020	18,58
2	MXBR01P66	CH FLANGE B 500X325X#19,05	19,05	AÇO SAE 1010/1020	19,49
2	MXBR01P64	CH FLANGE A 500X350X#19,05	19,05	AÇO SAE 1010/1020	27,04
16	MXBR01P20	CH ENCOSTO #19,05X50X40	19,05	AÇO SAE 1045	0,24
1	MXBR01P56_01	CH BASE AJUSTE B 438X293X#19,05	19,05	AÇO SAE 1010/1020	15,1
1	MXBR01P46	CH BASE AJUSTE A 438X293X#19,05	19,05	AÇO SAE 1010/1020	15,1
2	MXBR01P36_01	CH 551X246X#19,05	19,05	AÇO SAE 1010/1020	19,48
2	MXBR01P08	CH 253X220X#19,05	19,05	AÇO SAE 1010/1020	11,67
1	MXBR01P60_01	CH GIRATÓRIA B 550X242,5X#25,4	25,4	AÇO SAE 1010/1020	22,97
1	MXBR01P40_01	CH GIRATÓRIA A 550X242,5X#25,4	25,4	AÇO SAE 1010/1020	22,97
4	MXBR01P53_01	CH GARRA LONGA 170X66X#44,45	44,45	AÇO SAE 1045	1,83
4	MXBR01P19_01	CH GARRA CURTA 170X66X#44,45	44,45	AÇO SAE 1045	1,78
1	MXBR01P68	CH 510X94X#50,8	50,8	AÇO SAE 1010/1020	13,59
1	MXBR01P67	CH 510X94X#50,8	50,8	AÇO SAE 1010/1020	13,71

Fonte: autor (2021)

A lista de blocos na Figura 40.

Figura 40 - Lista de blocos

QDT.	REFERÊNCIA	DENOMINAÇÃO	MATERIAL	PESO
8	MXBR01P15	BLOCO V 226X110X70	AÇO SAE 1010/1020	8,52

Fonte: autor (2021)

Na Figura 41, segue a lista de tubulações.

Figura 41 - Lista de tubos

QDT.	REFERÊNCIA	DENOMINAÇÃO	MATERIAL	PESO
1	MXBR01P14	TUBO RET 150X100x6,35x870	ASTM A-36	20,07
2	MXBR01P70	TUBO RET 150X100x6,35x590	ASTM A-36	13,61
2	MXBR01P03	TUBO RET 150X100x6,35x2290	ASTM A-36	52,25
3	MXBR01P02	TUBO RET 150X100x6,35x1400	ASTM A-36	32,3
2	MXBR01P10	TUBO RET 150X100x6,35x1000	ASTM A-36	23,07
2	MXBR01P01	TUBO QUAD 80x80x4,75x710X45°	ASTM A-36	6,64
2	MXBR01P69	TUBO QUAD 80x80x4,75x650X45°	ASTM A-36	6,01
2	MXBR01P73	TUBO QUAD 70x70x4,75x500X45°	ASTM A-36	3,89

Fonte: autor (2021)

Na Figura 42, temos a lista de aços redondos e quadrados.

Figura 42 - Lista de aços longos

QDT.	REFERÊNCIA	DENOMINAÇÃO	MATERIAL	PESO
4	DIN EN 28734 - 6 x 24 - A - St	PINO GUIA Ø6X25		
16	DIN EN 28734 - 10 x 40 - A - St	PINO GUIA Ø10X40		
52	DIN EN 28734 - 10 x 30 - A - St	PINO GUIA Ø10X30		
4	DIN EN 28734 - 10 x 24 - A - St	PINO GUIA Ø10X25		
2	MXBR01P42_01	AÇO RED Ø63,5x105 PINO	AÇO SAE 1045	0,98
8	MXBR01P38	AÇO RED Ø63,5X50 BUCHA POSICIONAMENTO	AÇO SAE 1010/1020	0,54
8	MXBR01P16	AÇO RED Ø63,5X38	VC 131 - TRATAMENTO TÉRMICO 56~58 Hrc	0,32
2	MXBR01P35	AÇO RED Ø63,5X345 (5810009 VERMELHO)	AÇO SAE 1045	4,24
2	MXBR01P39	AÇO RED Ø63,5X345 (5809989 - VERDE)	AÇO SAE 1045	4,24
2	MXBR01P37	AÇO RED Ø63,5X345 (5809969 LARANJA)	AÇO SAE 1045	3,68
2	MXBR01P41	AÇO RED Ø63,5X345 (5165795 - AMARELO)	AÇO SAE 1045	2,96
2	MXBR01P06	AÇO RED Ø63,5X250 (EIXO Ø44)	AÇO SAE 1045	2,61
4	MXBR01P17	AÇO RED Ø44,45X45	AÇO SAE 1045	0,35
4	MXBR01P29_01	AÇO RED Ø44,45X35	AÇO SAE 1010/1020	0,16
4	MXBR01P22_01	AÇO RED Ø31,75X35 (SEXT 24 mm)	AÇO SAE 1045	0,08
4	MXBR01P25	AÇO RED Ø31,75X30	AÇO SAE 1045	0,12
10	MXBR01P51	AÇO RED Ø31,75X20 ENCOSTO EIXO	AÇO SAE 1045	0,11
4	MXBR01P62	AÇO RED Ø19,05X30	AÇO SAE 1010/1020	0,03
2	MXBR01P43_01	AÇO RED Ø127X35 BUCHA (5 POL)	AÇO SAE 1045	1,15
4	MXBR01P23	AÇO RED Ø 44,45 BUCHA ROSCA M20X2,5	AÇO SAE 1045	0,32
2	MXBR01P50	AÇO RED BUCHA GRAMPO Ø19,95X16 mm	AÇO SAE 1045	0,02
4	MXBR01P21	AÇO QUAD TREF 63,5 X 171	AÇO SAE 1045	4,55
4	MXBR01P18	AÇO QUAD TREF 63,5 X 141	AÇO SAE 1045	3,98
8	MXBR01P74	AÇO QUAD TREF 19,05X82	AÇO SAE 1010/1020	0,18
6	MXBR01P47	AÇO QUAD TREF 19,05X162	AÇO SAE 1045	0,33
4	MXBR01P24_01	BARRA ROSCADA M20X2,5 X 230	AÇO SAE 1045	0,48

Fonte: autor (2021)

Na Figura 43, temos a lista dos componentes de fixação.

Figura 43 - Lista de componentes de fixação

QDT.	DENOMINAÇÃO
2	PORCA CASTELO M36
2	PINO CONTRAPINO Ø6,35X71
8	PARAFUSO SEXT M16X110 CLASSE 12,9
28	PARAFUSO ALLEN M8X55 ROSCA TOTAL
2	PARAFUSO ALLEN M8X35
32	PARAFUSO ALLEN M8X30
44	PARAFUSO ALLEN M8X25
32	PARAFUSO ALLEN M8X16
10	PARAFUSO ALLEN M6X35
20	PARAFUSO ALLEN M6X25
8	PARAFUSO ALLEN M16X80 CLASSE 12,9
24	PARAFUSO ALLEN M12X25 CLASSE 12,9
8	PARAFUSO ALLEN M10X45
20	PARAFUSO ALLEN M10X35
82	PARAFUSO ALLEN M10X30
8	PARAFUSO ALLEN M10X25
8	PARAFUSO ALLEN CAB CHATA M10X35
8	PARAFUSO ALLEN CAB ABAULADA M6X12
16	ARRUELA LARGA M16XØ50X#3 mm
28	ARRUELA ESTREITA M8
6	ARRUELA ESTREITA M10

Fonte: autor (2021)

E por último, na Figura 44, são apresentados a lista dos adereços.

Figura 44 - Lista de adereços

QDT.	DENOMINAÇÃO	MATERIAL	PESO
4	BARRA ROSCADA M20X2,5 X 230	AÇO SAE 1045	0,48
4	OLHAL M16 (~600KG)	AÇO SAE 1010/1020	0
8	MOLA Ø30X35/ ARAME Ø4 / PASSO 8X5 ESPIRAS	AÇO SAE 1010/1020	0,05
2	GUIA - TRILHO 35 mm X 1270 mm		1024,14
4	GUIA - CARRO LONGO C/ ABA - 35 mm		0,37
2	GRAXEIRA RETA M6x1		0,435
2	GRAMPO KIFIX TORPEDO FRONTAL KF-007		

Fonte: autor (2021)

Essas listas são encaminhadas, juntamente com os desenhos das peças e demais documentos, para o setor de compras, que dará seguimento para a aquisição dos componentes.

4.2 EXECUÇÃO DO DISPOSITIVO

Neste capítulo do trabalho são apresentadas algumas imagens da execução, ou seja, a fabricação do dispositivo, após a aplicação da metodologia, definição do conceito e detalhamento do projeto.

4.2.1 Chassis soldado e usinado

Para a consolidação do chassis, primeiramente os tubos foram processados passando pelo processo de corte na serra fita, onde também foram cortados os ângulos dos tubos inclinados, e as chapas foram provenientes de corte térmico. Após a soldagem o chassis permaneceu como mostrado na Figura 45. Para o alívio de tensões residuais e desempenho do chassis, foi utilizado o método de aquecimento na secção central, para compensar de maneira incremental a variação produzida pela dilatação do processo de soldagem.

Figura 45 - Chassis soldado



Fonte: autor (2021)

O chassis foi então encaminhado para usinagem, para realizar o faceamento e as furações necessárias, como mostra a Figura 46, para fixar componentes. Após a chegada, o chassis passou por processo de medição tridimensional, e foi constatou uma pequena variação das furações do lado fixo em relação ao lado móvel, porém como o processo de usinagem foi feito em uma etapa, não é possível tamanha variação, sendo assim, uma das possibilidades é que esta variação pode ter ocorrido posteriormente a usinagem. Durante o transporte do chassis ele sofreu trepidações, e como visto na bibliografia, a vibração é uma das formas de alívio de tensões, logo é uma possibilidade para a variação. Essa variação será absorvida pelo conjunto de blocos com ajuste mostrado na Figura 25.

Figura 46 - Chassis usinado

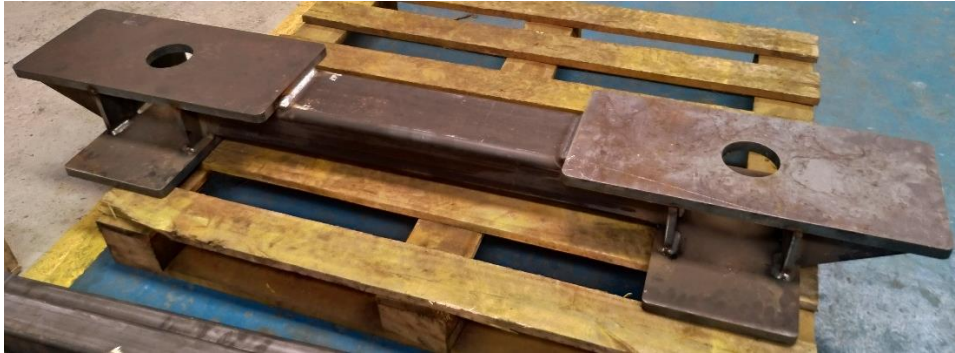


Fonte: autor (2021)

4.2.2 Conjunto móvel soldado e usinado

O conjunto móvel possui chapas e tubos, que são processados, após é realizado o posicionamento e a soldagem dos componentes. Destaca-se a necessidade de precisão no posicionamento das chapas superiores, devido ao recorte do furo em que a bucha passa. Desta maneira, o conjunto soldado permanece conforme a Figura 47.

Figura 47 - Conjunto móvel soldado



Fonte: autor (2021)

Após o processo de soldagem, esse conjunto é encaminhado para a usinagem, onde é realizado o faceamento inferior, superior, e as furações, como mostra a Figura 48.

Figura 48 - Conjunto móvel usinado



Fonte: autor (2021)

4.2.3 Conjunto de blocos com sistema de regulagem de posição

Inicialmente foram fabricadas as chapas base (Figura 49) com os furos maiores para permitir o ajuste na posição, os demais furos são guias e rebaixos para a cabeça dos parafusos.

Figura 49 - Chapas base do conjunto fixo com regulagem de posição



Fonte: autor (2021)

Os blocos são usinados e neles são montadas duas chapas de encosto, e a bucha rosca com material de alta resistência, pois estará sujeita a desgaste. A montagem é apresentada na Figura 50.

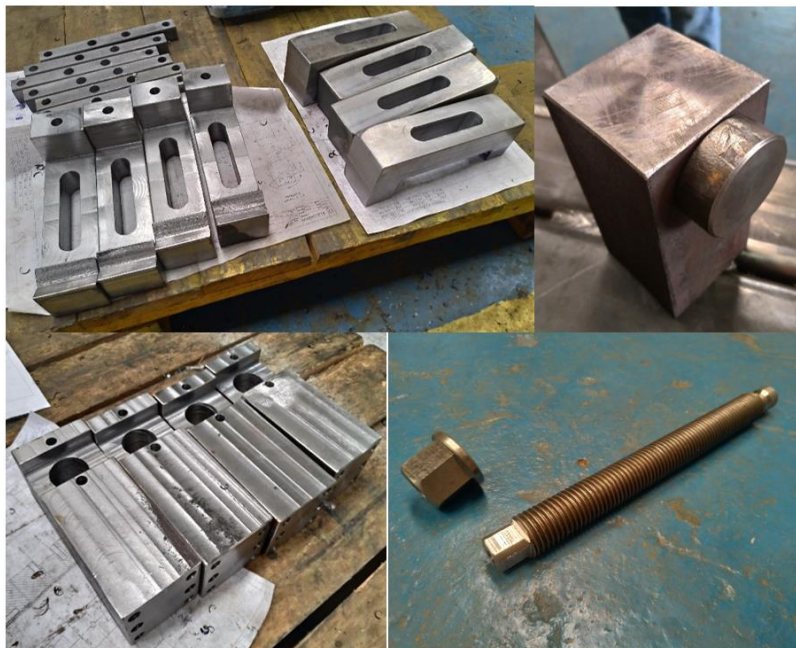
Figura 50 - Bloco montado



Fonte: autor (2021)

Os demais componentes mostrados na Figura 51, também passam por processo de usinagem como é o caso das garras, blocos, encostos, buchas e barras rosçadas. Todos os componentes sujeitos a desgaste passam por processo de têmpera para elevar a dureza e conseqüentemente a resistência ao desgaste.

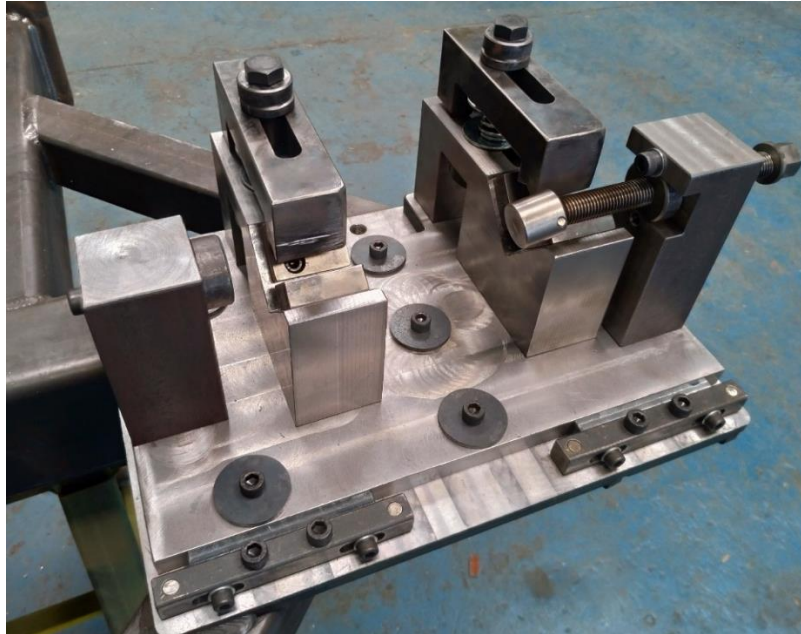
Figura 51 - Principais componentes do conjunto de blocos



Fonte: autor (2021)

Com a produção dos componentes concluída, pode ser feita a montagem destes, acima da chapa base, conforme apresenta a Figura 52.

Figura 52 - Conjunto montado de blocos com regulagem de posição



Fonte: autor (2021)

4.2.4 Conjunto de blocos com sistema giratório

O sistema giratório, na parte de cima consiste dos mesmos componentes mostrados no item 4.2.3, com uma diferença na parte de baixo, começando pela chapa base, que segue na Figura 53.

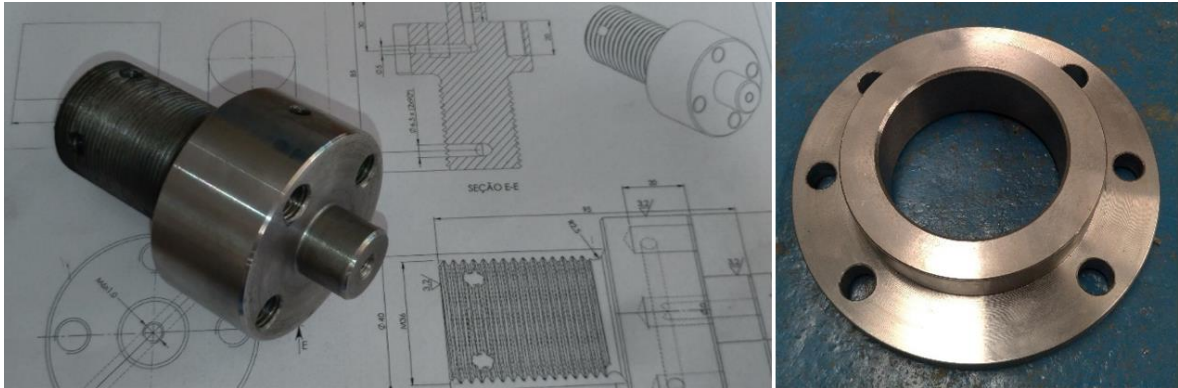
Figura 53 - Chapa base do sistema giratório



Fonte: autor (2021)

O eixo que é montado no centro da chapa base do sistema giratório. Ele passa por processo de usinagem e quando finalizado permanece como mostra a Figura 54. Também nesta figura é apresentada a bucha que é montada no eixo e no conjunto móvel.

Figura 54 - Eixo e bucha do sistema giratório



Fonte: autor (2021)

A Figura 55, apresenta a montagem da parte superior do conjunto giratório.

Figura 55 - Montagem superior do sistema giratório



Fonte: autor (2021)

A Figura 56, apresenta em detalhe, no lado esquerdo a fixação entre o eixo e a chapa, e a graxeira utilizada para a lubrificação. Já no lado direito, a bucha parafusada e guiada por pinos, pela parte de baixo no conjunto móvel, assim como o travamento, que utiliza arruela cortada termicamente, porca do tipo castelo e o contrapino.

Figura 56 - Detalhe do travamento do sistema giratório



Fonte: autor (2021)

4.2.5 Conjunto de buchas para posicionamento

A Figura 57, apresenta a construção das buchas com o sistema de regulagem de posição, assim como o grampo torpedo frontal, utilizado para travamento do conjunto móvel.

Figura 57 - Bucha de posicionamento



Fonte: autor (2021)

4.2.6 Conjunto dos guias lineares

Figura 58, temos o detalhe da montagem do trilho do guia linear, do carro abaixo do conjunto móvel, do batente, e da chapa de proteção contra respingos.

Figura 58 - Conjunto dos guias lineares



Fonte: autor (2021)

4.2.7 Conjunto dos eixos

Os eixos da Figura 59, são usinados a partir de um aço redondo de diâmetro 63,5 mm, nas duas pontas são feitos os apoios nos prismas, a parte central com maior diâmetro serve como encosto, e a parte facetada é onde o acople com o conjunto de braços é feito.

Figura 59 - Eixos



Fonte: autor (2021)

A Figura 60, apresenta uma imagem demonstrando o sistema de aperto do eixo nos prismas, por meio das garras que são pressionadas pelos parafusos na parte superior. No lado esquerdo da figura temos o encosto do eixo, e no lado direito a barra roscada que fará o aperto do conjunto de braços contra este encosto.

Figura 60 - Sistema de aperto do eixo



Fonte: autor (2021)

4.2.8 Lado do conjunto móvel do dispositivo

A montagem final do conjunto do lado móvel do dispositivo, está apresentada na Figura 61.

Figura 61 - Montagem final conjunto móvel

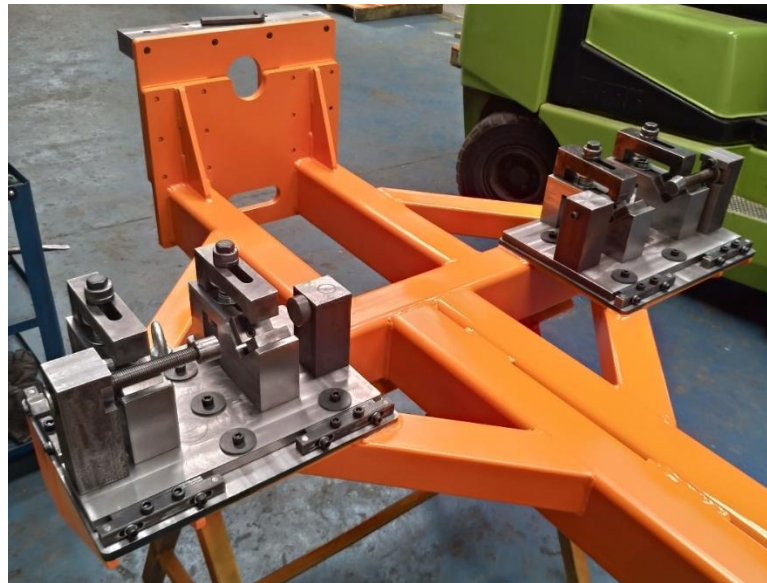


Fonte: autor (2021)

4.2.9 Lado do conjunto fixo do dispositivo

A montagem do lado fixo finalizado está apresentada na Figura 62, nela também podemos ver o conjunto de fixação que é utilizado para acoplar o dispositivo no robô de soldagem.

Figura 62 - Montagem final conjunto fixo



Fonte: autor (2021)

4.2.10 Montagem completa do dispositivo

Por fim, a Figura 63, mostra o dispositivo concluído.

Figura 63 - Montagem completa do dispositivo



Fonte: autor (2021)

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com este trabalho foram verificadas a importância de muitas ferramentas que auxiliam no desenvolvimento de um projeto. A metodologia de gerenciamento de projeto de Pahl e Beitz (2005), mostrou ser prática e eficiente para esta aplicação, pois numa empresa de ferramentaria, existe uma diversidade muito grande de projetos, e não se pode destinar muito tempo para a aplicação de uma metodologia muito complexa, como quando falamos de uma empresa que está desenvolvendo um produto próprio, onde o ciclo de vida é muito mais longo e o investimento é maior. Para o melhoramento de projetos futuros, podem ser criadas peças e conjuntos padronizados, como por exemplo buchas, eixos e encostos, facilitando assim a fabricação e reduzindo o tempo destinado ao projeto no computador.

A análise do custo de fabricação é um ponto bem importante para o crescimento de uma empresa, é com essa análise que podemos avaliar a viabilidade de um projeto, otimizar os componentes e maximizar lucros. Inicialmente o custo de fabricação do dispositivo estava elevado, e com uma breve análise surgiram pontos de complexidade e melhoria nos subconjuntos que compõe o dispositivo. O custo de uma não alteração em projeto, implica em um custo grande de retrabalho no futuro, e o tempo destinado para essas simples alterações permitiram grandes reduções de custo, e melhorias no funcionamento do dispositivo.

O cronograma estabelecido foi cumprido conforme o estimado, e foi importante para estabelecermos uma boa sequência na produção do dispositivo. Destaco que a experiência com prazos de outros projetos é um ponto interessante para estipularmos o prazo das etapas de trabalho e assim, conseguir passar para o cliente um prazo mais preciso de entrega do dispositivo.

Para trabalhos futuros, podem ser apresentados dados de validação do dispositivo, como por exemplo análise de elementos finitos do chassi, detalhes sobre o tryout e ajustagem do dispositivo para adequação ao uso, bem como a parte operacional do dispositivo, quando ele em funcionamento, se permitido.

REFERÊNCIAS

BACK, Nelson. **Projeto integrado de produtos: planejamento, concepção e modelagem**. Barueri, SP: Manole, 2008 1 recurso online ISBN 9788520452646.

BERGAMO, Renato Luis. **Modelo de referência para o processo de desenvolvimento de máquinas agrícolas para empresas de pequeno e médio porte**. Santa Maria: UFSM, 2014. 303f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

LARSON, Erik W. **Gerenciamento de projetos o processo gerencial**. 6. Porto Alegre AMGH 2016 1 recurso online ISBN 9788580555677.

MARQUES, Paulo Villani. **Soldagem fundamentos e tecnologia**. 4. Rio de Janeiro GEN LTC 2016 1 recurso online ISBN 9788595156067.

OKUMURA, T, T. **Engenharia de soldagem e aplicações**. Rio de Janeiro: LTC 1982. SENAI. **Soldagem**. São Paulo, SP, 2013. 719 p.

PAHL, Gerhard, et al. **Projeto na Engenharia: fundamentos do desenvolvimento eficaz de produtos, métodos e aplicações**. São Paulo: Blucher, 2005. 411 p.

PESA. **Minicarregadeiras**. Disponível em: <<http://www.pesa.com.br/pesa-cat-mini-carregadeira-262-d3.html>>. Acesso em 15 de janeiro de 2022.

SOARES H.C.G. **Estudo de sequência de soldagem para redução e eliminação de distorções**. Belo Horizonte: UFMG, 2006. 95f. Dissertação (Mestrado em engenharia mecânica), Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte 2006.