

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO  
EM PROJETO E PROCESSOS  
DE FABRICAÇÃO

Área de concentração: Projeto e Processos de Fabricação

Dissertação de Mestrado

PROJETO E DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO PARA  
MONTAGEM DE IMPLEMENTOS FLORESTAIS

Anderson de Souza

Passo Fundo

2021



CIP – Catalogação na Publicação

---

S729p Souza, Anderson de  
Projeto e desenvolvimento de um dispositivo para  
montagem de implementos florestais [recurso eletrônico] /  
Anderson de Souza. – 2021.  
2 MB ; PDF.

Orientador: Prof. Dr. Márcio Walber. Dissertação  
(Mestrado em Projeto e Processos de  
Fabricação) – Universidade de Passo Fundo, 2021.

1. Processos de fabricação. 2. Florestas – Implementos.  
3. Máquinas florestais – Indústria. 4. Florestas – Manejo.  
I. Walber, Márcio, orientador. II. Título.

CDU: 62-11

# **PROJETO E DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO PARA MONTAGEM DE IMPLEMENTOS FLORESTAIS**

Orientador: Prof. Dr. Márcio Walber

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Projeto e Processos de Fabricação da Universidade de Passo Fundo, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Projeto e Processos de Fabricação.

Passo Fundo

2021

Anderson de Souza

**PROJETO E DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO PARA  
MONTAGEM DE IMPLEMENTOS FLORESTAIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Projeto e Processos de Fabricação da Universidade de Passo Fundo, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Projeto e Processos de Fabricação.

Data de aprovação: 10 de dezembro de 2021.

Os componentes da Banca examinadora abaixo aprovaram a Dissertação:

Professor Dr. Márcio Walber  
Orientador

Professor Dr. Antônio Carlos Valdiero  
Universidade Federal de Santa Catarina

Professor Dr. Agenor Dias de Meira Junior  
Universidade de Passo Fundo

Professor Dr. Marcelo Hemkemeier  
Universidade de Passo Fundo

*Dedico este trabalho a meus pais João e Maria  
Leocadia, meus irmãos João Edson e Dayane,  
minha esposa Ivia e minha filha Heloísa*

## AGRADECIMENTOS

Meus agradecimentos iniciam a toda a equipe da UPF, especialmente a meu orientador Dr. Márcio Walber, que de forma simples, direta e paciente me ajudou a chegar ao final do trabalho. Também registro aqui agradecimentos especiais aos professores doutores Agenor Meira Dias, Márcio Walber, William Haupt e Wu Xiao Bing pela grande contribuição em minha atividade profissional, seja pela atitude, conteúdo e dedicação que ministraram suas disciplinas.

Meus agradecimentos seguem aos companheiros de caminhada no mestrado, os do período de aluno especial, minha turma de 2018 e os da turma de 2019. Foi uma grande experiência voltar aos bancos de engenharia, os tempos estão mudando e talvez o convívio com os colegas presencialmente diminua ou deixe de existir, em minha opinião nada substitui a troca de experiências presenciais, desta forma gostaria de mencionar agradecimento especial a alguns colegas que fizeram a diferença me ajudando em algumas dificuldades, Alex Sander, Giancarlo, Huann e Juliano.

Agradeço ainda ao time da J de Souza que me auxiliaram e colaboram muito em toda a rota, especialmente aos meus colegas diretores João e Dayane, e a nossos funcionários ou ex-funcionários Adriano, Arnaldo, Bruno, Cosme, Fabrício, Gabriel, José Lino, Kleysson, Lucas, Renan, Róger, Sandro, Thaíse e Wanessa.

A minha esposa Ivia pelo apoio e cuidados com nossa Heloísa, especialmente nos meses finais do trabalho.

A amiga de nossa família Fernanda pela paciência durante as idas a Passo Fundo e aos muitos anônimos que me receberam neste bom período em Passo Fundo.

*“Se seguir fazendo o que sempre tem feito,  
sempre obterá o mesmo que sempre obteve”*

(Henry Ford)

## RESUMO

O Brasil é um dos maiores players da silvicultura no mundo, este fato tem motivado o crescimento da indústria de implementos florestais no Brasil e ainda acirrado a concorrência entre fabricantes locais e estrangeiros que também tem vindo em busca de uma parcela deste mercado. Neste sentido a proposta da pesquisa é tratar da melhoria da eficiência do processo de montagem final de equipamentos em uma indústria brasileira fabricante de equipamentos para mecanização da atividade florestal. O objetivo principal do trabalho é o desenvolvimento de um equipamento dedicado a montagem de garras, garras traçadoras e cabeçotes multifuncionais de uso florestal. O dispositivo foi projetado utilizando um método de desenvolvimento de projetos, e propõe identificar os problemas que causam diminuição da eficiência do processo, através de observação e medição do processo no chão de fábrica e da consulta aos profissionais envolvidos na operação de montagem final, culminando no desenvolvimento de melhorias no processo. O dispositivo de montagem tornou o processo de montagem mais rápido, mais seguro e mais ergonômico, e principalmente também reduziu o serviço braçal empregado na tarefa. Ao final do trabalho também foi possível observar melhorias no acabamento dos implementos florestais. Ao fim do projeto foi possível observar oportunidade de desenvolver outro dispositivo para montagem de outras famílias de implementos florestais, como os subsoladores e *mini-skidders*, criando um equipamento similar, mas que simule o sistema de acoplamento de três pontas dos tratores agrícolas.

Palavras-chave: Equipamentos florestais; Indústria de máquinas florestais; Montagem de implementos florestais.

## **ABSTRACT**

Brazil is one of the players in silviculture in the world, this fact has fostered the growth the demand of forestry implements in Brazil and thus increasing the competition among national and foreign manufacturers which also have come in search of a share of this market. Likewise, the proposal of the research is to deal about the improvement of the efficiency of the final equipment assembly in a Brazilian company that manufactures equipment for the mechanization of the forestry activity. The main objective of this work was the development of a device destined to the assembly of grapples, grapple saws and multifunctional heads to be used in forestry activities. The device was developed employing a method of design development and it proposes to identify the problems that cause a decrease in the process efficiency through the process supervising and measurement in the factory floor and the advisory to the professionals engaged in the final assembly reaching its top in the advancements in the process. The assembly equipment made the assembly process faster, safer and more ergonomic and it mostly also decreased the handling labor employed in the task. In the end of the work, it was also observed improvements in the finishing of the forestry equipment. In the end of the project, it was possible to observe the opportunity to develop an equipment for the assembly of other families of forestry implements, such as subsoilers and mini-skidders creating a similar equipment, but that simulates the three-point coupling system of agricultural tractors.

**Keywords:** Forestry Attachments; Forestry Machine Industry; Equipment Assembly.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - <i>Layout</i> celular.....	24
Figura 2 - Tipos de layouts clássicos, sendo: (a) <i>layout</i> funcional, (b) <i>layout</i> em linha, (c) <i>layout</i> fixo e (d) <i>layout</i> contínuo.....	25
Figura 3 - Procedimento geral para o desenvolvimento de projetos.....	32
Figura 4 - Principais etapas de trabalho para elaboração da lista de requisitos.....	34
Figura 5 - Etapas de trabalho da fase de concepção.....	35
Figura 6 - Etapas do anteprojecto.....	37
Figura 7 - Etapas do trabalho de detalhamento.....	38
Figura 8 - Cargas de Euler.....	41
Figura 9 - Cabeçote multifuncional J de Souza MJ 800.....	54
Figura 10 - Garra J de Souza GJ 1000r.....	55
Figura 11 - Garra traçadora J de Souza TJJ Dupla.....	56
Figura 12 - Aplicação do método projetos para o presente estudo.....	58
Figura 13 - Montagem de implemento florestal.....	59
Figura 14 - Garra florestal movimentada com auxílio de cintas elásticas.....	60
Figura 15 - Montagem de pino em garra florestal.....	60
Figura 16 - Evidências de risco de acidentes e danos a pintura.....	62
Figura 17 - Função global e subfunções do equipamento a ser concebido.....	66
Figura 18 - Simulação de montagem de garra florestal.....	68
Figura 19 - Desdobramento da função global.....	68
Figura 20 - Conceito unidade hidráulica, comum para V1 e V2.....	74
Figura 21 - Conceito variante V1 – vista em perspectiva.....	74
Figura 22 - Componentes e posições de trabalho da Variante V1 Sendo (a) componentes principais; (b) vista lateral com a menor inclinação e mínima elevação; (c) mínima inclinação; (d) máxima inclinação.....	75
Figura 23 - Montagem de garra florestal no conceito de V1, sendo (a) início da montagem; (b) cabeça da garra florestal fixa a mesa e a unha da garra suspensa pela cinta; (c) as duas unhas conectadas; (d) cilindro hidráulico.....	76
Figura 24 - Variante V2, vista em perspectiva.....	77
Figura 25 - Componentes do conceito V2.....	77

Figura 26 - Simulação de montagem de Garra Florestal variante V2. Sendo (a) Dispositivo abaixado fazendo fixação da cabeça da garra no início da montagem, (b) Dispositivo elevado para receber unha da garra, (c) inclinando a garra para montar braços e cilindro e (d) Garra montada.....	78
Figura 27 - Árvore dos objetivos.....	79
Figura 28 - Circuito hidráulico dispositivo de montagem.....	83
Figura 29 - Bomba de pistões série V A2f.....	84
Figura 30 - Reservatório de óleo J de Souza.....	85
Figura 31 - Estrutura e proteções da unidade de geração hidráulica.....	86
Figura 32 - Comando hidráulico Vista V Z50.....	87
Figura 33 - Potência de Acionamento x Vazão.....	87
Figura 34 - Motor W22 IR3 WEG.....	88
Figura 35 - Rádio transmissor e receptor.....	89
Figura 36 - Situação de maior solicitação do cilindro de elevação.....	90
Figura 37 - Atuação das forças na elevação da garra florestal GJ 2000.....	90
Figura 38 - Cilindro de elevação aberto e fechado.....	93
Figura 39 - Pior condição de solicitação do cilindro inclinador.....	94
Figura 40 - Atuação das forças na elevação da garra florestal GJ 2000.....	95
Figura 41 - Comprimento do cilindro de inclinação aberto e fechado.....	96
Figura 42 - Pinos de construção similar as aplicadas.....	97
Figura 43 - Conceito final a ser detalhado.....	98
Figura 44 - Garra GJ 300s em montagem.....	99
Figura 45 - Garra GJ 800r em montagem.....	100
Figura 46 - Vista explodida Equipamento de manipulação e montagem.....	101
Figura 47 - Vista explodida unidade de geração de energia hidráulica.....	102
Figura 48 - Vista explodida coluna do braço manipulador de implementos florestais.....	103
Figura 49 - Vista explodida braço manipulador de implementos florestais.....	104
Figura 50 - Acoplamento universal em vista explodida.....	106
Figura 51 - Cilindro hidráulico de elevação de implementos florestais.....	107
Figura 52 - Cilindro de inclinação.....	108
Figura 53 - Sistema de articulação.....	110
Figura 54 – Desenho da estrutura da unidade hidráulica.....	111

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classificação dos processos de produção para manufatura.....	23
Quadro 2 - Graus de automação.....	26
Quadro 3 - Botões de comando.....	46
Quadro 4 - Sinalização luminosa.....	46
Quadro 5 - Lista de requisitos do produto.....	62
Quadro 6 - Abstração.....	65
Quadro 7 - Matriz morfológica.....	69
Quadro 8 - Matriz morfológica com variantes.....	72
Quadro 9 - Lista de seleção.....	73
Quadro 10 - Portadores de função principal.....	82
Quadro 11 - Componentes do equipamento de manipulação e montagem.....	100
Quadro 12 - Componentes da unidade de geração de energia hidráulica.....	101
Quadro 13 - Componentes da coluna.....	103
Quadro 14 - Componentes do braço manipulador de implementos florestais.....	104
Quadro 15 - Componentes acoplamento universal.....	105
Quadro 16 - Componentes do cilindro de elevação de implementos florestais.....	107
Quadro 17 - Componentes do cilindro de inclinação.....	109
Quadro 18 - Componentes do sistema de articulação.....	109
Quadro 19 - Componentes da estrutura da unidade hidráulica.....	110

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Propriedades dos aços.....	51
Tabela 2 - Composição química (% de peso) arame sólido.....	53
Tabela 3 - Coleta de tempos montagem de garras florestais.....	61
Tabela 4 - Avaliação.....	80
Tabela 5 - Lista de avaliação de duas variantes.....	80
Tabela 6 - Forças exercidas pelos cilindros J de Souza.....	91
Tabela 7 - Momento de inércia x carga de flambagem x modelo de cilindro.....	93
Tabela 8 - Coleta de tempos montagem de garras florestais.....	99

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACR	Associação Catarinense de Empresas Florestais
AVG	Veículos guiados automaticamente
CAD	Auxiliado por computador
CAM	Manufatura auxiliada por computador
CIM	Manufatura integrada por computador
ERP	Sistema de gestão das operações da empresa
FAO	Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura
FMC	Células flexíveis de manufatura
PC	Produção contínua
PJ	Produção por <i>jobbing</i> ou processos
PL	Produção em lotes ou batelada
PM	Produção em massa
PP	Produção por projeto
TI	Tecnologia da informação

## LISTA DE SÍMBOLOS

A	Aceleração
Ac	Área da coroa do cilindro
Ap	Área do pistão
D	Deslocamento
Dh	Diâmetro mínimo da haste, em m
Di	Diâmetro mínimo
Dp	Diâmetro interno da camisa, em m
E	Módulo de elasticidade do aço, em Pa
F	Força
Fa	Força de avanço, em N
Fa	Carga máxima de Trabalho, em N
J	Momento de inércia, em m <sup>4</sup>
K	Carga de flambagem, em N
M	Momento
M	Massa
P	Pressão
Ptb	Pressão de trabalho, em N/m <sup>2</sup>
Q	Vazão máxima do sistema
Qb	Vazão da bomba
Qia	Vazão induzida no avanço
Qir	Vazão induzida no retorno
S	Coefficiente de segurança (sugerido 3,5)
V	Velocidade recomendada para a tubulação
Va	Velocidade de avanço necessária para movimentar no tempo especificado
Vr	Velocidade de avanço necessária para movimentar no tempo especificado
VR	Volume do reservatório
η <sub>at</sub>	Rendimento do atuador, 90% devido a perdas com atrito com o êmbolo
λ	Comprimento livre de flambagem

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>17</b>
<b>1.1 Justificativa.....</b>	<b>19</b>
<b>1.2 Objetivos do trabalho.....</b>	<b>19</b>
<b>1.3 Estrutura do documento.....</b>	<b>20</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>21</b>
<b>2.1 Sistemas produtivos.....</b>	<b>21</b>
<b>2.2 Automação e automatização na indústria.....</b>	<b>25</b>
<b>2.3 Indústria metal mecânica e de máquinas agrícolas.....</b>	<b>28</b>
<b>2.4 Métodos de projetos.....</b>	<b>32</b>
2.4.1 Fase I: esclarecimento e função metódica da tarefa .....	33
2.4.2 Fase II: concepção.....	34
2.4.3 Fase III: metodologias para anteprojeto.....	36
2.4.4 Fase IV: métodos para o detalhamento.....	37
<b>2.5 Materiais e componentes para o projeto de equipamentos industriais.....</b>	<b>39</b>
2.5.1 Sistemas hidráulicos para transmissão de movimento.....	39
2.5.2 Sistemas mecânicos para transmissão de movimento.....	44
2.5.2.1 <i>Transmissões por engrenagens.....</i>	<i>45</i>
2.5.2.2 <i>Transmissões flexíveis.....</i>	<i>45</i>
<b>2.6 Comandos elétricos.....</b>	<b>45</b>
<b>2.7 Aços disponíveis para construção .....</b>	<b>48</b>
2.7.1 Aços para construção de estruturas.....	49
2.7.2 Aço para construção de elementos complementares a estrutura.....	50
2.7.3 Soldagem de aços.....	51
<b>2.8 Equipamentos florestais.....</b>	<b>53</b>
2.8.1 Cabeçotes multifuncionais.....	53
2.8.2 Garras de baldeio de toras.....	54
2.8.3 Garras traçadoras.....	55
<b>2.9 Conclusão da revisão bibliográfica.....</b>	<b>56</b>
<b>3 DESENVOLVIMENTO.....</b>	<b>58</b>
<b>3.1 Avaliação do processo de montagem de implementos florestais.....</b>	<b>59</b>
<b>3.2 Necessidades e desejos para construção de um equipamento ideal.....</b>	<b>62</b>
<b>3.3 Concepção da solução.....</b>	<b>65</b>

3.3.1 Definição da função global pela abstração.....	65
3.3.2 Desdobramento da função global em subfunções.....	66
3.3.3 Seleção de variantes.....	72
<b>4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....</b>	<b>82</b>
<b>4.1 Esclarecimentos do anteprojeto.....</b>	<b>82</b>
<b>4.2 Especificação e dimensionamento de componentes principais.....</b>	<b>83</b>
4.2.1 Bomba hidráulica .....	84
4.2.2 Reservatório hidráulico.....	84
4.2.3 Estrutura equipamento da unidade de geração hidráulica.....	85
4.2.4 Comando hidráulico.....	86
4.2.5 Motor elétrico.....	87
4.2.6 Radio controle.....	88
4.2.7 Cilindros hidráulicos.....	89
4.2.8 Coluna e braço manipulador.....	96
4.2.9 Acoplamento universal.....	97
4.2.10 Pinos e buchas.....	97
4.2.11 Conceito final.....	98
4.2.12 Testes em chão de fábrica.....	98
<b>4.3 Detalhamento.....</b>	<b>100</b>
4.3.1 Coluna do equipamento de montagem de implementos florestais.....	102
4.3.2 Braço manipulador de implementos florestais.....	104
4.3.3 Acoplamento universal.....	105
4.3.4 Cilindro hidráulico de elevação.....	106
4.3.5 Cilindro de Inclinação.....	108
4.3.6 Sistema de articulação.....	109
4.3.7 Estrutura da unidade hidráulica.....	110
<b>5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>112</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>113</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A silvicultura é um mercado ainda pouco conhecido do público em geral, trata-se de um ramo da agricultura que trata da produção e manejo de florestas. A maioria das pessoas externas ao mercado de base florestal, possivelmente desconheça que o Brasil é um dos maiores produtores de madeira reflorestada e seus derivados no mundo, sendo o 9º maior reflorestador segundo dados da FAO (Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura), citados por Moreira et al. (2017), sendo um grande reflorestador de eucalipto e pinus.

O país é ainda o segundo maior produtor de celulose, nono na produção de papel, oitavo na produção de serrados de madeira, oitavo maior produtor de chapas de madeira reconstituída e maior produtor mundial de carvão vegetal (ACR, 2019). Existe ainda um relevante mercado de madeira para geração energia limpa oriunda de madeira reflorestada e também a produção de serrados de madeira nobre oriunda de árvores nativas, que pode e deve ser colhido por meio de supressão florestal legal, autorizada por órgãos ambientais para abertura de áreas de mineração, construção de linhas de transmissão, estradas e lagos de usinas hidroelétricas, corte seletivo sustentável, vendáveis, entre outras situações.

Este mercado empregou cerca de 1,3 milhões de empregos no Brasil em 2019, segundo a IBA (2020), a associação que representa o setor da cadeia produtiva de árvores plantadas, e “de fato, o mercado florestal representa 5% do PIB industrial e 8% das exportações Brasileiras” (CARVALHO et al., 2005, p. 106). A empresa-cenário deste estudo está inserida na silvicultura por meio da produção de implementos agrícolas específicos para a área florestal, mais precisamente para preparo de solo, colheita florestal e movimentação dos derivados das florestas, toras, resíduos, cavacos, carvão vegetal e madeira serrada.

Em países desenvolvidos com vocação florestal como Suécia, Finlândia e Alemanha, na Europa, Canadá e Estados Unidos na América do Norte é comum a existência de fabricantes máquinas base e implementos especializados para a mecanização florestal. Na América do Sul tem aumentado o número de indústrias fabricantes de implementos para o setor, especialmente no Brasil, que dispõe de diversos fabricantes de implementos especializados em mecanização florestal como pode ser observado em grandes feiras do setor como a Feira Florestal Brasileira, a Expoforest (2018), alguns inclusive são exportadores.

Já as máquinas base são em grande parte importadas da América do Norte e da Europa, pois o Brasil ainda produz poucas máquinas base especializadas no ramo florestal. Porém, o país produz diversas máquinas de construção como escavadeiras e pás carregadeiras mais voltadas ao setor de construção e tratores agrícolas, que acabam sendo adaptadas ao setor

florestal. Países como Argentina, Uruguai e, especialmente, o Chile começam a seguir os passos do Brasil na produção de implementos florestais, como pode ser observado no Catálogo da Feira Florestal Brasileira editado pela Malinovski Florestal (2018).

Nas indústrias de todos os setores e de todos estes países, a busca por um processo mais rentável é natural, e as empresas que obtém êxito estão sempre procurando melhorar processos, eliminar retrabalhos, reduzir mão de obra, automatizar, robotizar, reduzir custos de produção, enfim associando gestão e tecnologia para assim se tornar mais competitiva (CAIRES et al., 2017). Neste sentido dependendo do tipo de produto e tamanho dos lotes a serem produzidos as fábricas tendem a definir o tipo do projeto de manufatura e também as máquinas e equipamentos para produzir seus produtos.

Muitas indústrias de máquinas, incluindo as que produzem implementos agrícolas e florestais dispõem de um ou mais tipos de processo de produção, sendo os mais comuns os processos com *layout* funcional e o em linha, e eventualmente utiliza-se o *layout* celular. O *layout* funcional conta com máquinas genéricas, como tornos, centros de usinagem, furadeiras, prensas, serras, máquinas de solda manual ou semi automatizadas, entre outras, que são oferecidas por diversos fabricantes e que podem se enquadrar em fábricas que produzem uma grande diversidade de produtos, mas em lotes não tão grandes (BLACK, 1998).

Fabricantes de automóveis, de eletrônicos, e até grandes fabricantes de implementos agrícolas, projetam fábricas com *layout* de produção em linhas, já que contam com produção de grandes lotes, estes projetos contam com máquinas muito especializadas e específicas, apesar de pouco flexíveis e mais caras (BLACK, 1998).

Alguns autores apresentam o *layout* celular como uma tentativa de conseguir a eficiência do *layout* em linha e a flexibilidade do *layout* funcional como Black (1998), Lima et al. (2011) e Neumann e Scalice (2015). Mas quando se fala em produzir implementos florestais, onde a escala é bastante menor, os tamanhos e pesos maiores, não é possível encontrar máquinas prontas como o das fábricas funcionais para montar garras de carregamento de toras ou cabeçotes de corte de árvores, e nem viável investir nos robôs das linhas de grandes montadoras, desta forma cada fabricante precisará desenvolver equipamento que facilitem e agilizem os processos para seus produtos ou se utilizar de muito trabalho braçal e adaptações que possivelmente não sejam produtivas.

## **1.1 Justificativa**

Não é novidade que o mundo vem passando por transformações muito rápidas, e a indústria possivelmente seja um dos setores mais afetados, com forte adoção de mecanização e automatização de processos, uso de robôs, internet das coisas, entre outras tecnologias, de forma que trabalhos artesanais, indústria com muitas operações manuais vem perdendo espaço e competitividade de forma vertiginosa. Neste sentido é importante que indústrias como a empresas fabricantes de implementos invistam em pesquisa e desenvolvimento de processos, não só de produtos.

A adoção de soluções como dispositivos, gabaritos, equipamentos e máquinas específicas aplicadas a produção e montagem de determinados tipos ou famílias de produtos podem reduzir custos, reduzir mão de obra, aumentar a capacidade produtiva, melhorar a eficiência e melhorar as margens de lucro. O desenvolvimento de um equipamento específico para montagem de implementos florestais traz diversos benefícios as indústrias metal mecânicas que produzem implementos para silvicultura, eduzindo o número de profissionais envolvidos na montagem por equipamento, reduzindo o tempo total de montagem, melhorando o acabamento, reduzindo riscos de acidentes e ergonômicos.

Por esse prisma, acredita-se que as implicações e benefícios desta pesquisa são diversas, pode incentivar especialmente pequenos e médios fabricantes não só do seguimento de implementos florestais, mas também do segmento de implementos agrícolas a desenvolverem equipamentos que os deixem mais eficientes, produtivos e lucrativos.

## **1.2 Objetivos do trabalho**

O presente trabalho tem como objetivo principal desenvolver o projeto de um dispositivo para montagem de implementos florestais.

Elencam-se também os seguintes objetivos específicos para auxiliar ao atendimento do objetivo principal:

- a) Desenvolver o projeto do equipamento utilizando uma metodologia de desenvolvimento de produtos;
- b) Desenvolver o projeto buscando a melhoria do processo de montagem de implementos florestais, tais como garras para movimentação de toras, garras traçadoras de árvores e cabeçotes para corte mecanizado de árvores;

c) Mensurar a capacidade de produção do setor de montagem antes e após a implantação do equipamento para montagem de equipamentos florestais.

### **1.3 Estrutura do documento**

A pesquisa inicia por uma revisão bibliográfica no capítulo 2 que abordou os diversos conhecimentos da engenharia que se fazem necessários para o projeto e desenvolvimento do dispositivo solução para montagem de equipamentos florestais, incluindo conteúdos sobre automação industrial e sistemas de produção, montagem industrial, hidráulica industrial, acionamentos elétricos, características e propriedades de materiais (aços), soldagem, desenvolvimento de projetos e breve descrição dos equipamentos a serem montados.

O capítulo 3 apresenta o desenvolvimento da pesquisa especificamente a aplicação das fases I e II, que tiveram como base o procedimento metódico de Pahl et al. (2005), passando pela elaboração de uma lista de requisitos, desenvolvimento de conceitos de dispositivos para montagem de implementos florestais, utilização de ferramentas de seleção e comparação de soluções.

O capítulo 4 apresenta os resultados obtidos com a utilização das fases III e IV do procedimento metódico de Pahl et al. (2005), nas seções relacionadas ao anteprojeto foram especificados os componentes aplicados conceito escolhido como solução, priorizando a escolha de componentes fabricados pela empresa cenário e componentes comerciais aplicados em produtos da empresa cenário. Na seção de detalhamento foram realizadas as formalizações do projeto para fabricação dos produtos, estrutura de produto, codificação segundo padrão da empresa cenário, mas não foram apresentadas as medidas construtivas e desenhos técnicos devidos ao fato de o dispositivo tornar-se comercial no futuro e está em fase de solicitação de patente. A parte final do capítulo final mostra os resultados dos primeiros testes, que mostraram que a introdução do equipamento na linha de montagem será promissora.

O capítulo 5 apresenta as conclusões finais do trabalho e algumas possibilidades de avanços futuros.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Este capítulo apresenta uma revisão de literatura, que inicia por uma pesquisa sobre aspectos das indústrias, como os tipos de sistemas de produção, tipos de máquinas aplicadas, automação industrial e indústria 4.0. Na sequência busca-se apresentar um retrato da condição atual da indústria metal mecânica brasileira, especialmente o ramo fabricante de máquinas e implementos agrícolas, buscando compará-la com o restante do mundo. É importante lembrar que a indústria de máquinas e implementos agrícolas é bastante ampla e engloba culturas como grãos, fruticultura, horticultura, incluído também a silvicultura entre outras culturas.

Além disso, é tratado um importante tema para condução deste trabalho, que são os métodos de projeto que podem ser adotados no desenvolvimento e projeto do dispositivo de montagem de implementos florestais. A parte final desta revisão de literatura trata das áreas de conhecimento que podem colaborar no projeto, especificação e fabricação do equipamento de montagem de implementos florestais. Neste sentido a revisão visita, ainda que de forma mais breve, temas como a hidráulica industrial, acionamentos e comandos elétricos, aços para construção mecânica e soldagem.

### **2.1 Sistemas produtivos**

O aumento da competição em todos os segmentos, agropecuária, comércio, serviços e principalmente na indústria é uma realidade no Brasil e no mundo (GRASEL, 2001). Nesta luta pela sobrevivência das empresas, não basta um produto de qualidade, fatores como preço, inovação e prazo, tem sido fatores determinantes na disputa por espaço. Barbieri et al. (2014) apontam que o Brasil conta com diversos pontos negativos que reduz em competitividade, como carga tributária elevada, burocracia, encargos sociais e baixo investimento público em logística. O quadro ainda piora quando se leva em conta as afirmações de Veloso et al. (2017), que indicam que a produtividade do brasileiro é baixa em relação aos países desenvolvidos e até em relação a alguns países da América latina. Os autores afirmam que a produtividade da indústria americana é 5,7 vezes maior que a brasileira e a média dos países desenvolvidos é 2,7 vezes maior que a da indústria do Brasil.

A indústria brasileira de manufaturados tem perdido sua competitividade no mercado externo e interno (NEUMAN; SCALICE, 2015). Estes mesmos autores afirmam que o país corre risco de desindustrialização, e que os caminhos mínimos para se manter competitivo passam por aprender os conceitos e técnicas mais recentes, comprar e implantar as tecnologias

mais modernas, porém, isso não garante o sucesso. Neste sentido, Neuman e Scalice (2015) recomendam que as empresas devem projetar seus sistemas de produção voltado a melhoria contínua da produtividade, flexíveis e sustentáveis.

Conhecer a classificação dos processos de produção em relação volume x variedade, auxilia da decisão de qual processo produção adotar e ainda em quais máquinas e equipamentos aplicar. Neuman e Scalice (2015) descrevem cinco processos:

- a) Produção por projeto (PP) é aplicado em produtos muito customizados como navios por exemplo, com longos tempos de produção, baixa repetição e muitas vezes até sem repetição.
- b) Produção por *Jobbing* ou Processos (PJ) é caracterizado por cada produto, compartilhar as máquinas da produção com outros produtos, também trabalha com baixa repetição e itens pequenos se comparado ao processo por projeto. Alfaiates, gráficas e restauradores de móveis são alguns dos exemplos deste processo.
- c) Produção em Lotes ou Batelada (PL) é conhecido também como processo em produção intermitente, e é caracterizado pela produção em volume médio de itens padronizados, utiliza muitos equipamentos do tipo universal. Exemplos destes processos são a fabricação de máquinas ferramentas e fabricação de peças de conjuntos montados em automóveis.
- d) Produção em Massa (PM) é caracterizada pela produção em grande escala de itens altamente padronizados, e aplicação de máquinas e equipamentos específicos projetados para o produto específico em produção. Fábrica de automóveis, fabricantes televisores e outros bens duráveis, a maior parte dos processos de produção de alimentos são alguns dos exemplos.
- e) Produção Contínua (PC) é caracterizado pela produção de bens que não podem ser identificados individualmente, na área industrial normalmente trata-se da produção de líquidos ou gases. São exemplos a produção de petróleo, instalações de eletricidade e algumas fábricas de papel. É o processo mais produtivo, porém, é o menos flexível.

O Quadro 1 a seguir apresenta uma classificação dos processos produtivos relacionando variedade x volume.

Quadro 1 - Classificação dos processos de produção para manufatura.

Variedade	Muito Alta	PP				
	Alta		PJ			
	Média			PL		
	Baixa				PM	
	Muito Baixa					PC
		Muito Baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito Alto
Volume						

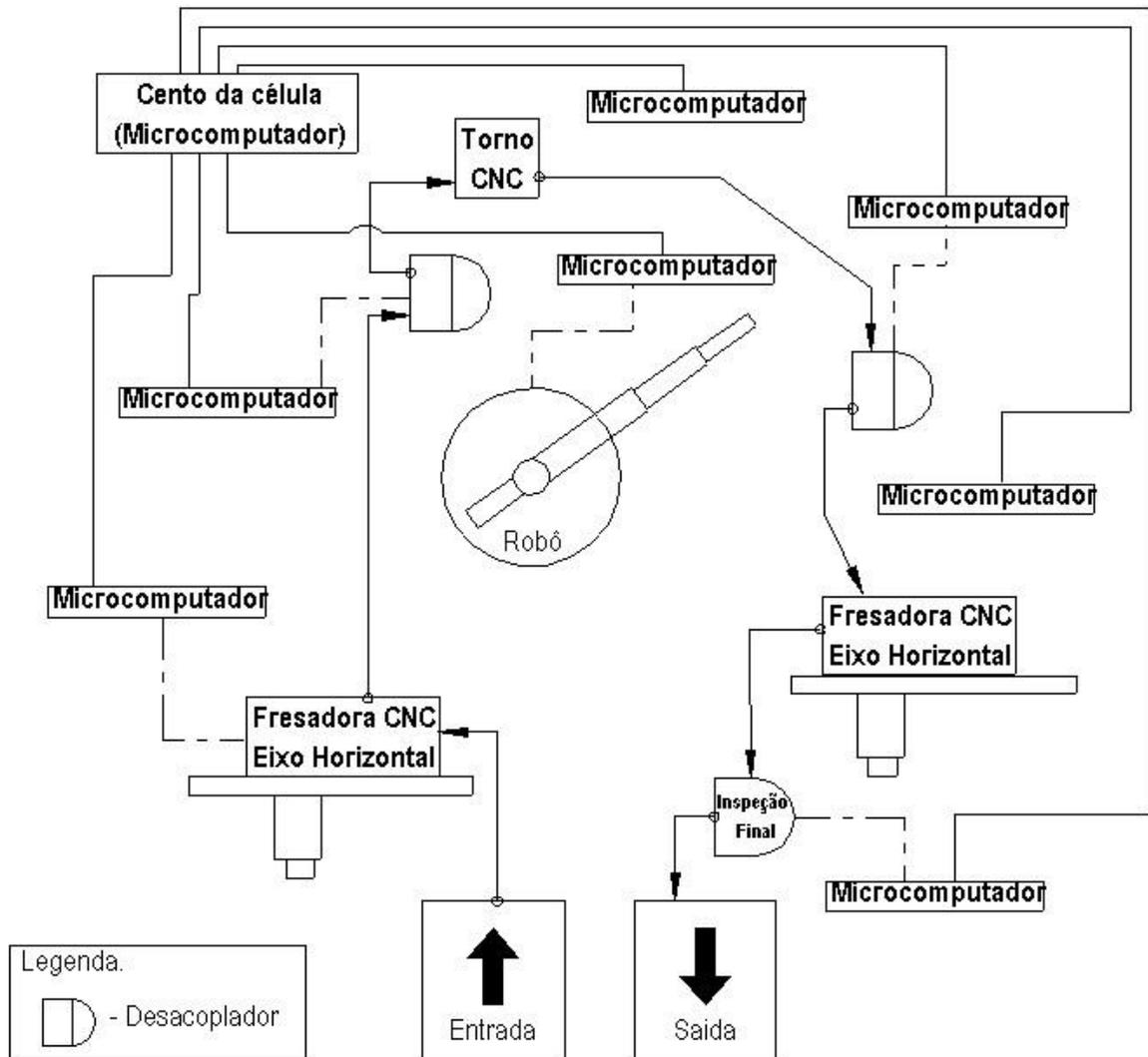
Fonte: Neumann e Scalice (2015).

É relevante também conhecer os tipos de *layout*, já que a disposição da fábrica também influencia na escolha das máquinas, desta forma também é importante abordar as possibilidades de organização das fábricas. O *layout* funcional, também conhecido *Job Shop*, é caracterizado por produção de pequenos lotes e grande variedade de produtos, e segundo Moraes e Santoro (2006) emprega máquinas universais que são agrupadas por função, como por exemplo centro de usinagens todos juntos. No *layout* em linha, o *Flow Shop*, existem mais máquinas para fins específicos, caracterizados pela produção de grandes lotes (BLACK, 1998). Este processo permite alto grau de automação e dá oportunidade para a especialização dos equipamentos (NEUMANN; SCALICE, 2015).

No *layout* de posição fixa a principal característica é que o item em fabricação se mantém estático, a produção é em pequena escala ou unitária (LIMA et al., 2007). Máquinas, equipamentos, matéria-prima e trabalhadores se deslocam ao local de fabricação. Nos processos contínuos, o processo flui fisicamente, como em refinarias de petróleo.

O *layout* celular ou sistema de manufatura de células interligadas é composto por células de produção e montagem interligadas por um sistema de controle de material (Black, 1998). Este *layout* tem como característica a redução do tempo de atravessamento, e muitas vezes utilizada as mesmas máquinas do *layout* funcional, porém, rearranjadas (GONÇALVES; OLIVEIRA, 2010). Autores como Gonçalves Filho e Christiano (1994) tem proposto a mudança do *layout* funcional afirmando que traz melhores resultados. A Figura 1 ilustra um *layout* celular.

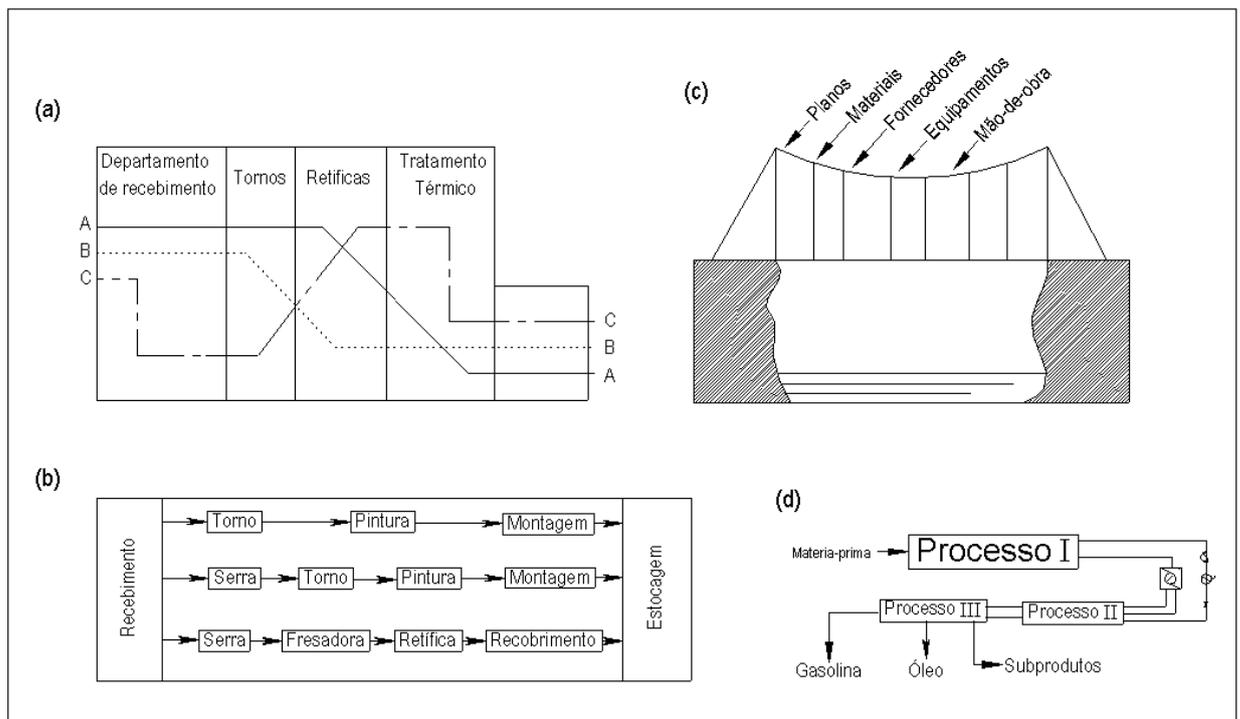
Figura 1 - Layout celular.



Fonte: Adaptada de Black (1998).

Há ainda os *layouts* mistos, que é associação de mais de um dos tipos clássicos de *layout* (NEUMANN, SCALICE, 2015). A decisão pelo sistema de produção e por máquinas genéricas ou especializadas, passa então pelo o tipo de produto, a escala, o tamanho e a capacidade de investimento, mas qualquer que seja a escolha, automação é crucial no cenário atual. A Figura 2 a seguir ilustra os *layouts* clássicos, 2a mostra um *layout* funcional, a 2b um *layout* em linha, a 2c mostra o *layout* fixo e, por fim, a 2d representa um *layout* contínuo.

Figura 2 - Tipos de *layouts* clássicos, sendo: (a) *layout* funcional, (b) *layout* em linha, (c) *layout* fixo e (d) *layout* contínuo.



Fonte: Adaptada de Black (1998).

A escolha das máquinas e equipamentos utilizados na produção são o principal fator de rendimento e qualidade das instalações, bem como, representa mais da metade do valor investido na implantação de uma fábrica (NEUMAN; SCALICE, 2015).

## 2.2 Automação e automatização na indústria

A automação industrial é outro ponto relevante para o presente trabalho. Segundo Araújo Júnior et al. (2003) a automação consiste em manipular vários processos por meios mecânicos e automáticos, substituindo o trabalho humano por diversos equipamentos. Já o trabalho de Fialho (2011) define automação como a organização de automatismos para gerar progresso humano, e ainda resume os “automatismos” como os meios que a ação humana é reduzida, eliminada ou potencializada, gerando um maior volume de trabalho. Os autores citam ainda algumas motivações para automatizar processos, como redução de custos com pessoal, aumento da qualidade devido a maior precisão das máquinas em relação ao homem, maior padronização, redução de produtos descartados, redução de grandes esforços físicos e de

problemas ergonômicos. Já o trabalho de Oliveira et al. (2017) defende que a automação industrial sob a ótica da administração industrial deve sempre incluir o elemento humano.

Os primeiros sinais de automação industrial ocorreram ainda na primeira revolução industrial com o surgimento das primeiras máquinas-ferramentas, a maioria tendo sua roda d'água tocadas por pequenos cursos de água, o eixo da roda transmitia força a correias que movimentavam grande parte das máquinas. Mais tarde surgiram os motores, primeiro a vapor, e mais tarde a combustão e elétrico, estes talvez a maior novidade da segunda revolução industrial. Nos anos 50 e 60 começaram a surgir as primeiras máquinas ferramenta de Controle Numérico e troca automática de ferramentas, depois computadores foram adicionados a estas máquinas. Mais adiante surgiram sistemas de movimentação de material, dispositivos de suportes e redes de controle por computador.

Teixeira et al. (2016) frisa que a vinda de empresa estrangeiras contribuiu para o desenvolvimento da automação nas empresas brasileiras, e aponta como alguns desafios para a automação de industrial, sendo eles a formação técnica de profissionais, segurança e confiabilidade em sistemas críticos, reconhecimento de padrões, identificação de falhas em sistemas, comunicação segura entre dispositivos heterogêneos e gerência de informação em tempo real. O Quadro 2 apresenta os graus de automação, desta forma é possível analisar em que nível as empresas se localizam quanto a automação.

Quadro 2 - Graus de automação.

<b>Graus de Automação</b>	<b>Atributo Humano Substituído</b>	<b>Exemplos</b>
A (0)	Nenhum: Alavanca, chave de fenda, roldana, chunha	Ferramentas Manuais, Máquinas manuais
A (1)	Energia: Músculos substituídos	Máquinas e ferramentas energizadas, máquina de <i>Whitey</i>
A (2)	Destreza: auto-alimentação	Máquinas automáticas de ciclo único
A (3)	Diligência: sem realimentação	Retenção de ciclos; controle de máquinas por laço aberto; aparafusadeira automática; linha transfer
A (4)	Julgamento: realimentação posicional	Laço fechado; controle numérico; auto-medição e auto-ajuste
A (5)	Avaliação: controle adaptativo, análise dedutiva; realimentação do processo	Controle computadorizado; modelo de processo necessário para análise e otimização
A (6)	Aprendizado: pela experiência	Sistemas especialistas com auto-programação limitada
A (7)	Raciocínio: apresentam intuição; relaciona causas e efeitos	Raciocínio indutivo; Inteligência Artificial

Continuação Quadro 2 - Graus de automação.

Graus de Automação	Atributo Humano Substituído	
A (8)	Criatividade: realiza projetos sem auxílio	Originalidade
A (9)	Dominância: Supermáquinas; comanda outras	A máquina é o mestre (HAL de "2001, Uma Odisséia no Espaço")

Fonte: Black (1998).

Segundo Araújo Junior et al. (2003) a automação é classificada em controle discreto e controle contínuo. Até a década de sessenta só se contava com o controle discreto, por meio do uso dispositivos eletromecânicos e relés. Mais tarde surgiram os controles lógicos programáveis, seguido dos amplificadores operacionais e depois controladores *single loop* e *multi loop*.

O trabalho de Neumann e Scalice (2015) descreve algumas tecnologias atuais que podem trazer avanços em um processo de manufatura:

- Células Flexíveis de Manufatura (FMC): são unidades de fabricação independentes pela combinação de uma ou mais máquinas, muitas vezes CNC, associadas a recursos de manipulação de peças e ferramentas, tais como robôs e sistemas automatizados de movimentação, incluindo sistemas pneumáticos, hidráulicos, eletrônicos, eletropneumáticos e eletro-hidráulicos. Estas células devem ser capazes de produzir uma variedade mínima de produtos.
- Controle Numérico: surgiu na década de 40 nos Estados Unidos e hoje é amplamente aplicado em máquinas ferramentas como tornos e centros de usinagem.
- Linhas Transfer e Sistema Dedicados de Manufatura: são uma opção quando se produz pequena variedade e elevado volume. Nestes dois casos é necessário a criação de equipamentos específicos para a fabricação. O trabalho de Moraes e Santoro (2006) apresenta uma definição das linhas de transferência como um conjunto de máquinas automáticas e estações de inspeção em série e interligadas por um sistema comum de controle e movimentação de materiais.
- Manufatura Integrada por Computador (CIM): busca a integração das operações, através da integração das ferramentas de desenho auxiliado por computador (CAD), manufatura auxiliada por computador (CAM) e sistema de gestão das operações da empresa (ERP).
- Robótica: se utiliza de programação e máquinas para a realização de processos que eram realizados pelo homem. O tipo de robô mais comum é o manipulador multipropósito controlado automaticamente, programável e reprogramável em três ou mais eixos. Esse

robô também é conhecido no meio por robô industrial, e as aplicações mais comuns são na soldagem, pintura, montagem e manuseio de peças.

- Veículos guiados automaticamente (AVG): diferentes níveis de automação são possíveis nos sistemas de **movimentação**, variando desde sistemas de roletes e esteiras, transportadores por correias, até veículos guiados automaticamente.

### 2.3 Indústria metal mecânica e de máquinas agrícolas

O trabalho de Lavarello e Goldstein (2011) apresentam dados reveladores sobre o setor de máquinas agrícolas, informando que dos 193 países do mundo, 50 têm capacidade para produção de máquinas agrícolas, e que 15 companhias multinacionais possuem 60% das vendas no mundo. Esses autores assinalam ainda que o mercado de máquinas agrícolas se caracteriza por vários segmentos de produtos, sendo que 30% do faturamento deste mercado é ocupado pela venda de tratores e colheitadeiras.

Tasch (2008) apontou que a indústria de máquinas agrícolas no Brasil é bastante diversificada do ponto de vista de complexidade dos produtos e tamanho das empresas, classificando-as em três grupos:

- Fabricantes de máquinas automotrizes: produtores de tratores, colheitadeiras e cultivadores motorizados, que são caracterizados por empresas de grande porte, com forte participação de capital estrangeiro, tendo domínio da tecnologia de fabricação e recursos para investimento em pesquisa e desenvolvimento, atendendo mercado nacional e internacional.
- Fabricantes de implementos de tração mecânica: engloba fabricantes de diversos portes, especialmente grandes e médias, de capital nacional, são bastante diversificadas do ponto de vista de produtos e atendem o mercado doméstico e externo.
- Ferramentas manuais e implementos por tração animal: empresas nacionais com foco regional, e eventualmente nacional. Produtos com menor complexidade, voltados a pequena propriedade ou a subsistência familiar.

Os principais processos utilizados por essas indústrias são fundição e forjamento, usinagem, corte e dobra, tratamento térmico, soldagem, montagem, pintura, inspeção e testes (TASCH, 2008). Os principais equipamentos utilizados no processo de fabricação destas indústrias são centros de usinagem, máquinas de eletro erosão, tornos mecânicos ou CNC,

fresadoras, furadeiras, guilhotinas, máquinas de corte a laser, oxicorte ou plasma, prensas, dobradeiras, calandras, forjas, aparelhos de solda e sistemas de pintura. A autora afirma que de forma geral a automação cresce conforme cresce o porte da empresa, mas que mesmo nas menores empresas, o setor de usinagem conta com máquinas com comando numérico computadorizado.

Tecchio et al. (2018) trata da indústria metal mecânica fabricante de máquinas frigoríficas no oeste catarinense, os autores afirmam que a automação reduz custos de mão de obra, reduz a quantidade de ciclos de produção e aumenta a qualidade e consistência do produto. Os autores acrescentam que é possível automatizar operações como processamento, montagem, inspeção e gerenciamento de materiais, e que processos automatizados são aqueles que realizam suas operações com baixa participação humana.

Quadros et al. (1999) realizou uma pesquisa sobre inovação tecnológica nos mesmos moldes dos países industrializados nas indústrias do estado de São Paulo, isso na metade da década de 90, participaram da pesquisa mais de 41 mil empresas, sendo 2698 empresas fabricantes de máquinas e equipamentos mecânicos diversos. A pesquisa apontou que as indústrias paulistas investiam muito menos que as indústrias dos chamados países industrializados em pesquisa e desenvolvimento, e que as indústrias brasileiras mais competitivas eram a química, petroquímica, metalmeccânicas e elétricas convencionais. O estudo apontou ainda que o grande investimento em inovação das empresas estava focado na redução de custos de produção e melhoria da qualidade dos produtos.

Já Yamada e Martins (2018) fizeram um comparativo mais recente entre a indústria brasileira e o mundo classificando as indústrias brasileiras como indústria 2.0, e a Alemanha como se adequando a indústria 4.0. Este termo surgiu em 2011 e com o objetivo de indicar a nova tendência de fábricas inteligentes, que somam automação industrial e a conexão de todos os envolvidos pela internet, máquinas, pessoas e sistemas. Ainda neste trabalho, os autores apontam países que são importantes fabricantes de implementos florestais bastante a frente do Brasil no índice global de inovação, índice que leva em consideração a performance temas como crescimento da produtividade, investimento em pesquisa e desenvolvimento e exportação de produtos de alta tecnologia. A Suécia está em segundo lugar com 63,8 pontos, Estados Unidos em quarto com 61,4 pontos, Finlândia em oitavo com 58,4 pontos e o Brasil na 69ª posição com 33,1 pontos.

Segundo Favarin et al. (2010) a década de 70 foi favorável a indústria metal mecânica brasileira, já anos 80 foram marcados por uma profunda crise para todos os setores, mas na década de 90 a abertura das importações e depois a implantação do plano Real obrigou a

mudanças nas indústrias brasileiras para suportar a concorrência dos produtos importados. Entre elas destaca-se reestruturação produtiva para redução de custos e introdução equipamentos com mais tecnologia. Na década seguinte um cenário mais favorável surgiu para as indústrias metal mecânicas brasileiras, inclusive com aumento das exportações.

Dantas et al. (2015) tratou da evolução recente nas pequenas indústrias do setor metal mecânico com pesquisas realizadas na década de 90 e em 2014, em Campina Grande no estado da Paraíba, região produtora e exportadora de algodão. O autor aponta que a inovação nas pequenas indústrias tem trajetória diferente das grandes companhias, e entre os motivos é apontado a inexistência de um setor formal de pesquisa e desenvolvimento, nem laboratórios e especialistas para resolução de problemas e invenção de produtos e processos, aponta ainda que nas diferentes regiões do Brasil também há disparidades no tema inovação. Nas entrevistas realizadas nos anos 90, as indústrias queixavam-se faltam máquinas e equipamentos desenvolvidos para produção em baixa escala, e que algumas eram muito grandes e sofisticadas para o seu porte, e desta forma muitas copiavam parte de máquinas do mercado para aplicar em seu processo produtivo. Nas entrevistas realizadas em 2014, 90,9 % das pequenas indústrias afirmaram realizar inovação incremental no processo produtivo e que o maior entrave para avançar era a falta de mão de obra qualificada.

Santin e Chiarini (2011) avaliaram a evolução tecnológica da indústria metal mecânica no estado Rio Grande do Sul, e apontaram que o aumento da produtividade gera redução nos preços, e isto gera aumento de demanda, e que aumento de investimento em novas tecnologias gera aumento de produção. Os autores apontam que existem quatro tipos de inovações que podem gerar grandes mudanças em uma empresa, inovações de produto, inovações de processo, inovações organizacionais e inovações de marketing. Afirma ainda que as indústrias metais mecânicas do Rio Grande do Sul têm forte ligação com o setor agrícola e que as inovações nas indústrias pequenas, médias e grandes se concentraram nos processos de produção entre os anos de 2005 a 2008.

Lavarello e Goldstein (2011) apontam que há uma baixa participação de máquinas e implementos agrícolas Argentinos no mercado global, e que desde o fim da década de 90 isto tem se aprofundado, inclusive no mercado interno, e foi agravado pela centralização da produção das fabricas multinacionais para o Mercosul no Brasil. Na Argentina as máquinas de maior complexidade são montadas em filiais de duas multinacionais que produzem colheitadeiras e tratores com filosofia de produção similar a japonesa, sendo grande parte das peças importadas, mas ainda assim a maior dos tratores e colheitadeiras são importadas. Já as indústrias de plantadeiras e pulverizadores, que são bastante expressivos, além de outros

implementos agrícolas são produzidos na Argentina. Os fabricantes de máquinas agrícolas argentinos têm maior concentração nas províncias de Santa Fé, Córdoba e Buenos Aires. Apesar das graves crises vividas pelo país, nas últimas duas décadas se observaram avanços tecnológicos nos processos produtivos, sendo incorporado robôs de soldagem, tornos com controle numérico, máquinas de corte, prensas com controle lógico programável, pontes rolantes, máquinas de corte plasma e laser, além de softwares mais avançados. A partir dos anos 2000 também houve melhoras nos processos soldagem e armação das máquinas, e também no acabamento com investimento em cabines de secagem e pintura.

A principal província produtora de máquinas agrícolas na China é Shan Dong, onde existem diversas companhias de grande, médio e pequeno porte, fabricantes de tratores, colheitadeiras, implementos agrícolas e partes de máquinas e implementos, sendo a província responsável por 40% da produção nacional (ZIDONG, 2010). O autor afirma que a demanda mundial por máquinas agrícolas está aumentando, citando que a Ásia central e países da África como grandes demandantes, porém, tendo pequena produção de máquinas e implementos agrícolas, importando 50% do que necessitam. Os órgãos governamentais e empresas têm trabalhado para que se forme um grande *cluster* e em uma mudança da forma de produzir, com as maiores empresas contratando as menores, assim todos ficam mais especializados, trabalhando com maiores volumes. O autor acrescenta que as médias e pequenas empresas ainda são fracas do ponto de vista tecnológico e que é necessário apoio governamental para desenvolvê-las, já que muitas têm processos e projetos bastante antigos.

Na Índia existe uma grande variedade de fabricantes, um número muito elevado de ferreiros artesanais que fabricam ferramentas manuais e para tração animal, muitas pequenas empresas que fabricam ferramentas manuais e implementos para tratores, porém, dispõem de máquinas-ferramentas de baixa qualidade e pouca estrutura de fabricação, tratamentos térmicos inadequados, ocasionando produtos de baixa qualidade e tecnologia (SINGH, 2006). Existe também uma faixa de médios e grandes fabricantes que dispõem de meios de fabricação com boa tecnologia, produzindo tratores, colheitadeiras e implementos agrícolas de qualidade que são exportados para todo o mundo, especialmente África e Ásia. Durante muito tempo alguns tipos de implementos só podiam ser fabricados por ferreiros e pequenas empresas por força de lei, mas recentemente muitos destes implementos passaram a ter sua produção permitida, com objetivo de melhorar a qualidade e também a produtividade agrícola do país.

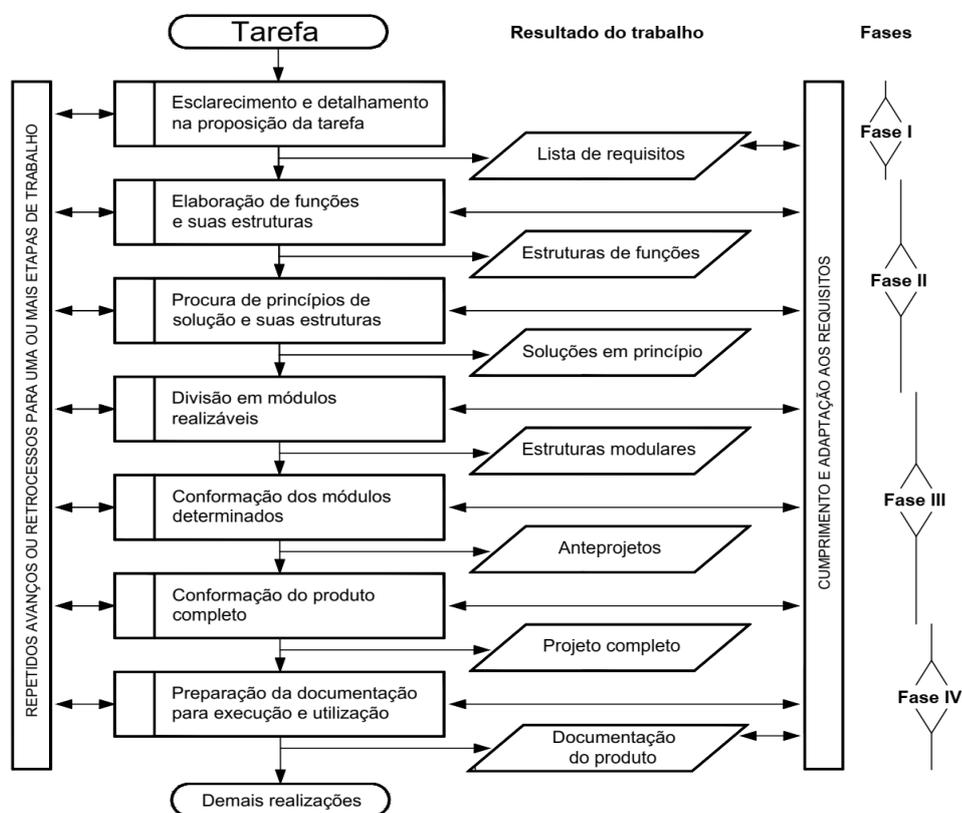
## 2.4 Métodos de projetos

O trabalho de Pahl et al. (2005, p.6) definem metodologia de projetos como “um procedimento planejado com indicações concretas de condutas a serem observadas no desenvolvimento e no projeto de sistemas técnicos”. Levandoski et al. (2015) ratificam, afirmando que a utilização de um método proporciona planejamento, análise de ferramentas e processos. Existem diversas metodologias de projetos, mas segundo Trindade et al. (2016), a proposta por Pahl et al. (2005) é mais compacta, sendo mais adequada a um projeto mecânico. Borges e Rodrigues (2010) apontam como as duas principais características deste método:

- Um problema é entendido como uma estrutura composta por entradas, uma função global e suas fronteiras e por saídas.
- O método trata um projeto como uma atividade sistemática estruturada, com etapas bem definidas e métodos a serem utilizados em cada uma delas.

A procedimento metódico de Pahl et al. (2005) é composto por quatro fases como pode ser observado na Figura 3 a seguir.

Figura 3- Procedimento geral para o desenvolvimento de projetos.



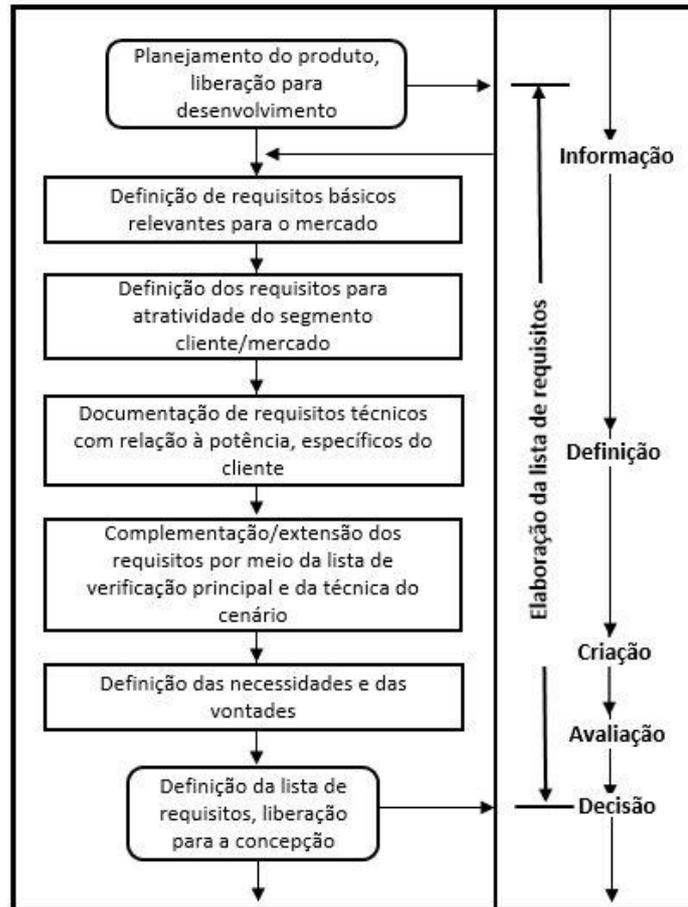
Fonte: Pahl et al. (2005).

#### 2.4.1 Fase I: esclarecimento e função metódica da tarefa

Segundo Pahl et al. (2005) a área de desenvolvimento de projetos recebe tarefas como um pedido de desenvolvimento, um pedido concreto ou sugestão de mudanças. Segundo Meneguzzi et al. (2018) para que um projeto não necessite ser reformulado futuramente é necessário esclarecer precisamente a tarefa. A principal ferramenta para a primeira fase é a elaboração da lista de requisitos, que segundo Pahl et al. (2005) é feito em dois estágios, no primeiro se definem e documentam-se os requisitos mais óbvios, e se necessário em um segundo estágio os requisitos são complementados, a Figura 4 ajudar a compreender o trabalho. Há ainda duas ferramentas que podem auxiliar:

- Trabalho segundo a linha mestra: parte da linha mestra “padrão” e ainda pode ser adaptada, classificando-os como necessidades ou desejos.
- Técnica do cenário: é examinado e esquematizado o ciclo de vida do produto desde sua criação até seu sucateamento. As perguntas fundamentais são o que poderá acontecer com o produto? Como o produto deverá reagir?

Figura 4 - Principais etapas de trabalho para elaboração da lista de requisitos.



Fonte: Pahl et al. (2005).

#### 2.4.2 Fase II: concepção

O trabalho de Capellari et al. (2018) aponta que a fase de concepção é caracterizada pela apresentação de alternativas de soluções, Simionato et al. (2018) acrescenta que é na fase 2 que é escolhida a melhor solução para a tarefa. Pahl et al. (2005) apresenta e descreve em sua obra as etapas da fase de concepção, conforme mostra a Figura 5.



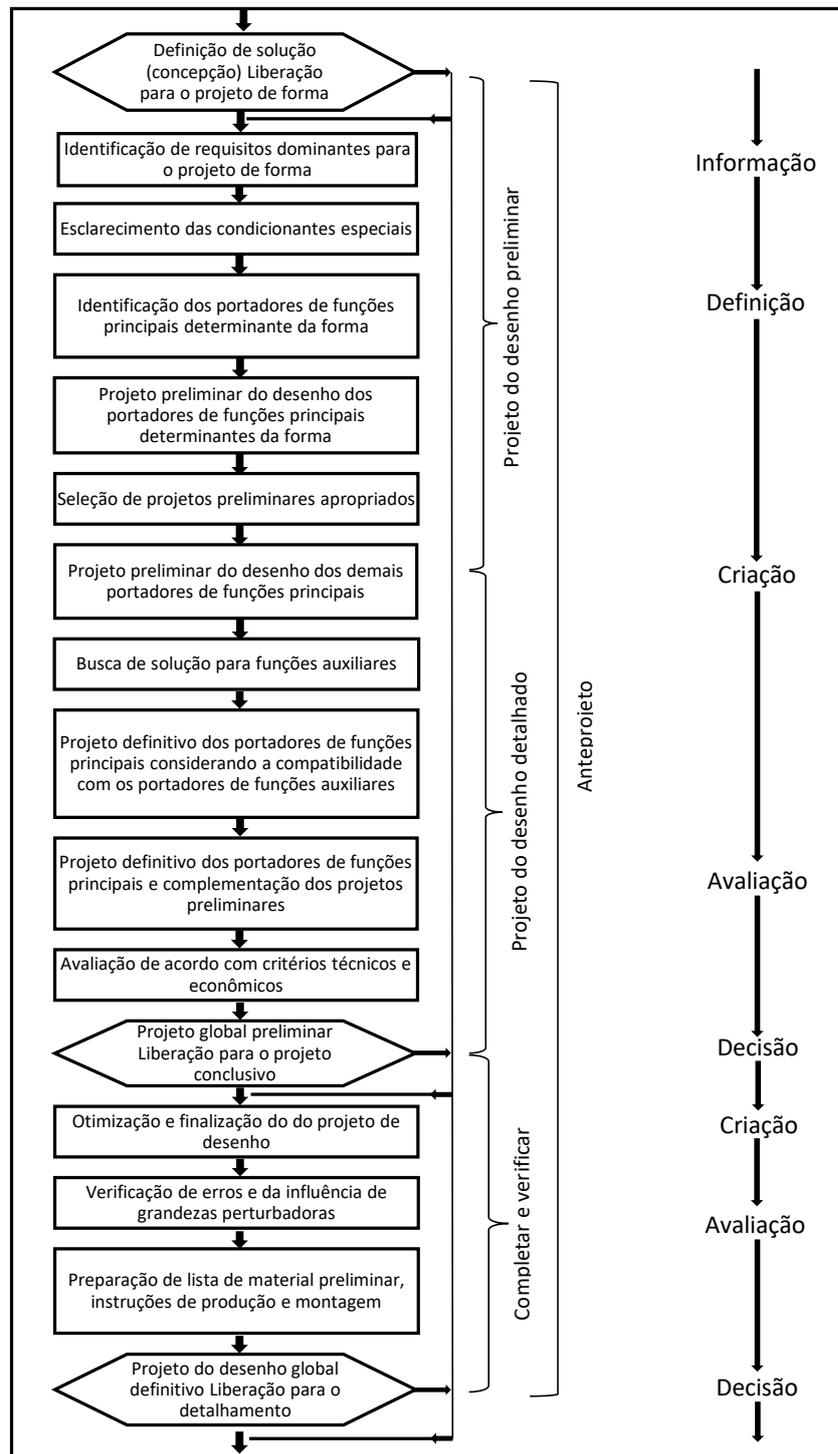
- Combinação de conceitos: o esquema classificador de Zwicky (“matriz morfológica”) é considerada uma ferramenta bastante apropriada para combinação sistemática de princípios de funcionamento.
- Desenvolvimento de conceitos: materialização das variantes básicas e avaliação das variantes.

#### 2.4.3 Fase III: metodologias para anteprojecto

Oberdörfer (2020) aponta que esta fase busca satisfazer as funções do produto, configurando componentes, *layout*, processos de fabricação e materiais. Koenig (2019) resume a fase de anteprojecto como o momento de configurar de forma concreta a ideia básica escolhida na fase de concepção.

Pahl et al. (2005) salienta que a fase de anteprojecto é bastante complexa, já que muitas atividades são executadas ao mesmo tempo, algumas etapas de trabalho precisam ser repetidas, acréscimos e modificações influenciam zonas já configuradas. A Figura 6 a seguir apresenta as etapas de um procedimento preliminar de 15 etapas, mas pode sofrer adaptações dependendo da tarefa.

Figura 6 - Etapas do anteprojecto.



Fonte: Pahl et al. (2005).

#### 2.4.4 Fase IV: métodos para o detalhamento

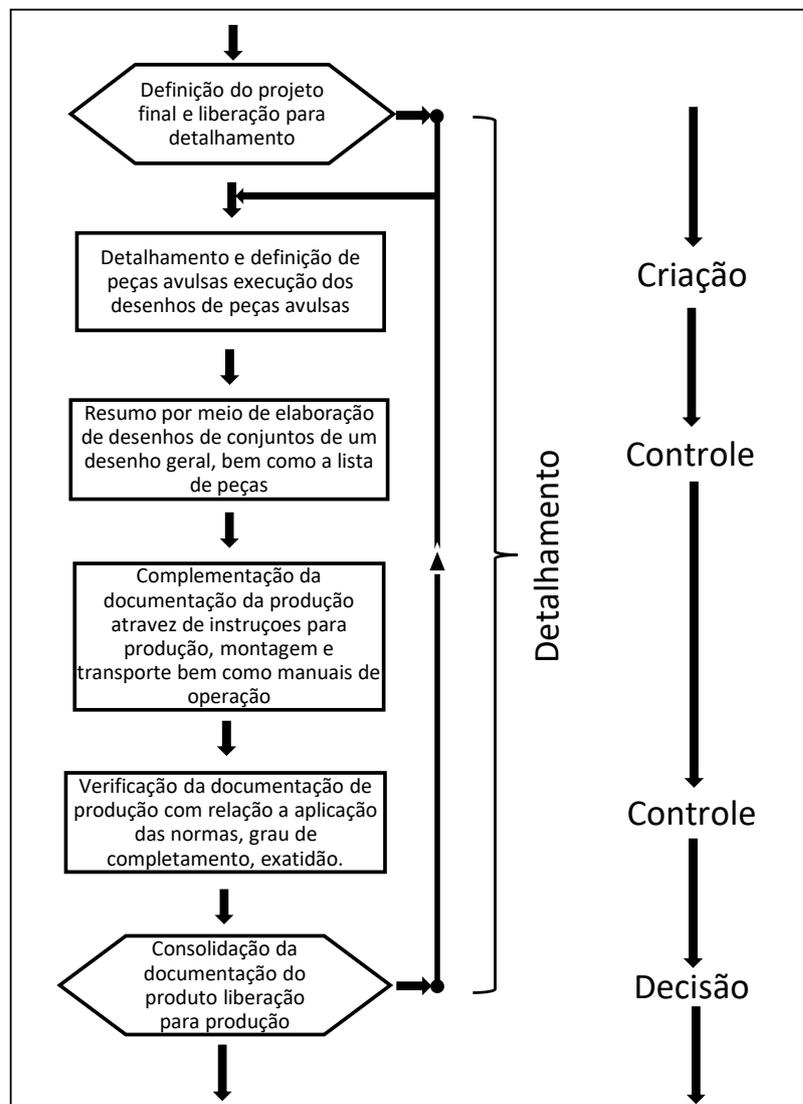
Pahl et al. (2005) tem a finalidade de produzir a documentação de projeto para a produção, o autor afirma também que nesta etapa é feita a especificação de materiais, revisão

das formas de fabricação e utilização, revisão dos custos finais, documentações obrigatórias de desenho, resultando na definição da técnica de produção da solução.

Pahl et al. (2005) aborda profundamente o assunto, apresentando todas as etapas da quarta fase como descrito na sequência e também apresentado na Figura 7.

- Sistemática da documentação para produção: apresenta as formas de construção da estrutura do produto, sistema de desenhos e sistemas de lista de peças.
- Caracterização dos objetos: tópico que aborda técnicas de numeração e caracterização dos objetos.

Figura 7- Etapas do trabalho de detalhamento.



Fonte: Pahl et al. (2005).

## 2.5 Materiais e componentes para o projeto de equipamentos industriais

Além de uma boa técnica para projeto, é necessário também conhecimentos técnicos relacionados a construção, já que na quarta fase do projeto é necessário a especificação de materiais e até componentes produzidos de forma comercial e muitas vezes normatizada. As seções a seguir revisam estes temas mais específicos.

### 2.5.1 Sistemas hidráulicos para transmissão de movimento

Nesta seção busca-se uma visão geral da hidráulica, sua aplicação na automação, dimensionamento e especificação de componentes como bombas, cilindros hidráulicos, tubulação e mangueiras, reservatórios de óleo, sistema de filtragem e resfriamento, entre outros elementos do sistema hidráulico.

Um sistema hidráulico é composto, de forma geral, pelo sistema de conversão primária, sistema de distribuição e controle, e sistema de aplicação de energia (FIALHO, 2011). O sistema de conversão primária é composto por reservatório, filtros, bombas, motores, acumuladores e entre outros acessórios. O sistema distribuição por válvulas controladoras de vazão, válvulas controladoras de pressão, válvulas direcionais, blocos hidráulicos, entre outros. Por fim o sistema de aplicação de energia é composto pelos atuadores, que podem ser cilindros, motores hidráulicos e atuadores.

As vantagens e desvantagens de um sistema hidráulico apontadas por Fialho (2011) são listadas a seguir.

- Fácil instalação de diversos elementos, diferente de sistemas mecânicos que não são flexíveis;
- Rápida e suave inversão de movimentos, fato que só é possível em sistemas mecânicos se estes utilizarem motores de passo ou servo motores;
- Permite ajustes finos na velocidade;
- Sistemas auto lubrificados, diferente de sistemas mecânicos e elétricos;
- Relação peso/tamanho/potência consumida muito menor que outros sistemas de movimento;
- Fácil proteção quanto a esforços excessivos;
- Custo inicial elevados quando comparado com sistemas mecânicos e elétricos;

- Baixo rendimento já que é necessário transformar outras energias em hidráulica para posteriormente transformar em mecânica e ainda existem perdas por vazamentos internos e por atrito externo e interno;
- Risco de incêndio já que óleo é inflamável.

É necessário que os componentes sejam bem especificados, dessa forma é necessário conhecer como dimensioná-los, Fialho (2011) explica que o dimensionamento dos cilindros hidráulicos inicia pelo conhecimento da aplicação e da função que deve exercer, na sequência a identificação da necessidade da força para avanço ( $F_a$ ) e escolha da pressão de trabalho ( $P_{tb}$ ).

$$D_p = \sqrt{\frac{\eta_{at} \cdot F_a}{\pi \cdot P_{tb}}} \quad (1)$$

Onde:

$D_p$  = Diâmetro interno da camisa, em m;

$\eta_{at}$  = rendimento do atuador, 90% devido a perdas com atrito com o êmbolo;

$F_a$  = Força de avanço/carga máxima de trabalho, em N;

$P_{tb}$  = Pressão de trabalho, em  $N/m^2$

O trabalho de Fialho (2011) também orienta quanto ao dimensionamento do diâmetro mínimo da haste ( $D_h$ ) deve ser determinado pela equação a seguir, com auxílio do critério de Euler para deformação e flambagem que apresentado na Figura 8 a seguir.

Figura 8 - Cargas de Euler.

Cargas de Euler				
Cargas de Euler	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4
	Uma extremidade livre e a outra fixa	(Caso Básico) As duas extremidades articuladas	Uma extremidade articulada e a outra fixa	As duas extremidades fixas
Representação Esquemática				
	<b>Comprimento Livre de Flambagem</b>			
	$\lambda = 2L$	$\lambda = L$	$\lambda = L \cdot (0.5)^{0.5}$	$\lambda = L/2$
Situação de Montagem para Cilindro Hidráulico				
Notas			Guiar a carga com cuidado, porque há possibilidade de travamento	Inadequado, provável ocorrência de travamento

Fonte: Fialho (2011).

$$Dh = \sqrt[4]{64 \cdot S \cdot \lambda^2 \cdot Ft / E \cdot \pi^2} \quad (2)$$

Onde:

Dh = Diâmetro mínimo da haste, em m;

S = coeficiente de segurança (sugerido 3,0 à 3,5);

Fa = Força de avanço/Carga máxima de Trabalho;

$\lambda$  = comprimento livre de flambagem;

E = módulo de elasticidade do aço, em Pa.

É importante também considerar que a carga de flambagem, Força máxima de avanço permitida e momento axial são dadas por:

$$K = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot J}{\lambda^2} \quad (3)$$

$$F_a = \frac{K}{S} \quad (4)$$

$$J = \frac{d h^4 \cdot \pi}{64} \quad (5)$$

Onde:

K = carga de flambagem, em N;

J = momento de inércia, em m<sup>4</sup>;

As bombas são dispositivos mecânicos que recebem energia de uma fonte motora e tem a função de converter energia mecânica em energia hidráulica (SANTOS et al., 2020). Estas podem ser classificadas em hidrodinâmica ou hidrostática, e em bombas de deslocamentos fixos ou variáveis (LINSINGEN e NEGRI, 2011). Nas bombas de deslocamento fixo, o volume de deslocamento é fixo a cada rotação da bomba, já nas bombas de deslocamento variável, o volume pode ser ajustado, independente da rotação. Santos et al. (2020) classifica as bombas hidrodinâmicas em axial, radial fluxo misto e regenerativas.

As bombas hidrostáticas, também conhecidas volumétricas, são as predominantes no projeto e dimensionamento de circuitos hidráulicos e se subdivide em quatro tipos: de engrenagens, de palhetas, de pistões e de parafuso (LINSINGEN e NEGRI, 2011). As bombas de engrenagens são classificadas em de engrenagens externas, de engrenagens internas, de lóbulos ou do tipo gerotor. Esse tipo de bomba é dotado de duas engrenagens, sendo uma motriz que recebe a força motriz através do eixo, normalmente pode trabalhar em pressões até 210 bar e vazão até 660 litros por minuto. As bombas de palhetas contam com um rotor com ranhuras nas quais deslizam palhetas que também entram em contato com um anel excêntrico, os movimentos entre estes três componentes pulsam o óleo para a linha de pressão. Estas bombas são de fácil manutenção, tem regulagem por parafuso, e podem gerar vazão entre 16 e 129 litros por minuto e pressão de trabalho de até 200 bar. São classificadas em balanceadas e deslocamento variável.

As bombas de pistões funcionam com base no princípio do movimento alternativo executado pelos pistões, apresentam rendimento próximo a 95% e alcançam pressões de até 700 bar. São construídas classificadas em pistões com distribuição radial ou axial, os dois tipos

são oferecidos com deslocamento fixo ou variável. Já as bombas de parafuso são dotadas de dois ou mais parafusos, geralmente são usadas para sistemas hidráulicos onde são necessárias altas taxas de fluxo e altas pressões, mas de baixa eficiência e alto custo como afirmam Linsingen e Negri (2011).

O trabalho de Fialho (2011) afirma que o dimensionamento da bomba se dá levando em conta a maior vazão necessária ao acionamento dos atuadores, sem esquecer de levar em conta a perda de carga nos componentes do sistema.

Caso existam cilindros hidráulicos no sistema as duas equações a seguir são relevantes.

$$Q_{ia} = v_a \cdot A_c \quad (6)$$

$$Q_{ir} = v_r \cdot A_p \quad (7)$$

Onde:

$Q_{ia}$  = vazão induzida no avanço;

$v_a$  = velocidade de avanço necessária para movimentar no tempo especificado;

$A_c$  = área da coroa do cilindro;

$Q_{ir}$  = vazão induzida no retorno;

$v_r$  = velocidade de avanço necessária para movimentar no tempo especificado;

$A_p$  = área do pistão.

Fialho (2011) destaca a vazão da bomba ( $Q_b$ ) escolhida deve ser maior que  $Q_{ia}$  e  $Q_{ir}$  calculadas.

O trabalho de Carrera et al. (2014) aponta a importância do dimensionamento das tubulações e mangueiras, o trabalho de Fialho (2011) aborda conhecimentos importantes sobre a perda de carga, classificando-a em perda distribuída ou localizada, acrescentando que itens como válvulas, luvas, joelhos, curvas, reduções e outros são fontes de perdas de pressão. O diâmetro mínimo da tubulação hidráulica ( $d_i$ ) é dado pela equação a seguir.

$$d_i = \sqrt{\frac{Q}{0,015 \cdot \pi \cdot v}} \quad (8)$$

Onde:

$Q$  = vazão máxima do sistema;

$v$  = velocidade recomendada para a tubulação;

A velocidade da tubulação ( $v$ ) dada pela expressão a seguir:

$$v = 121,65 \cdot P^{\frac{1}{3,3}} \quad (9)$$

Onde:

$P$  = Pressão;

O dimensionamento do volume do reservatório (VR) também é muito importante, já que o reservatório além de armazenar o óleo, também tem como função o resfriamento por condução e convecção como apresentado por Fialho (2011). O autor apresenta uma regra prática em que o volume do reservatório (VR) deve ser igual ou maior a três vezes a vazão máxima ( $Q_b$ ) do sistema. Na construção do reservatório é importante a instalação de acessórios como filtro de sucção, ponto de drenagem, janela para limpeza e inspeção, chicana separadora do ponto de captação de óleo e ponto de retorno do óleo, entre outros que serão apontados na fase de projeto.

### 2.5.2 Sistemas mecânicos para transmissão de movimento

O trabalho de Yoshida (1979) já abordava as transmissões mecânicas, e afirmava que neste modo de transmitir energia uma sucessão ou cadeia de elementos mecânicos e colocada em movimento, normalmente transmitindo movimento circular e eventualmente movimento retilíneo, mas este último se limita a curtas distâncias.

Uma das tarefas mais comuns das máquinas é transmitir potência advinda de um motor a combustão ou elétrico, sendo que um modo eficiente de transmissão é por meio do movimento rotativo de eixos mancalizados, podendo ser incorporados engrenagens, polias para correias ou rodas dentadas para correntes com objetivo de mudar direção do movimento, velocidade e torque (BUDYNAS; NISBETT, 2016). Esses autores afirmam que nesse tipo de projeto, como em quase todos os outros, os componentes não são independentes e passam as seguintes recomendações:

- É importante conhecer os requerimentos de potência e torque, assim como qualquer razão necessária de velocidade ou torque de entrada para a saída, antes de dimensionar a engrenagens ou polias.

- Após a escolha das engrenagens ou polias, é aconselhável tratar da disposição axial do eixo, localizando engrenagens e mancais, decidindo itens como transmitir torque entre eixo e engrenagem ou polia, utilizando chavetas ou estrias por exemplo, e como fixar mancais e outros elementos, se com uso anéis, porcas ou outros.
- É nesse ponto que se torna importante a análise de forças, que terá importante papel para seleção do material, dimensionamento considerando a tensão de fadiga, estática, deflexão, e com estes conhecimentos é possível selecionar os mancais.

Os eixos árvores são um elemento importante das transmissões mecânicas, sejam elas compostas por elementos rígidos ou flexíveis. Melconian (2012) frisa que os eixos árvores suportam elementos como polias, engrenagens, rolamentos, rodas de atrito, entre outros, com a finalidade de transmitir movimento. Na sequência são apresentados os principais tipos de elementos da transmissão mecânica.

#### *2.5.2.1 Transmissões por engrenagens*

Segundo Budynas e Nisbett (2016) as engrenagens fornecem momentos torcionais a eixos para gerar movimentos e transmissão de potência. Melconian (2012) acrescenta que as engrenagens podem ser utilizadas em eixos paralelos ou reversos, que a transmissão ocorre sem deslizamento e com relação constante, afirmando que o funcionamento é seguro, possuem vida longa e resistem a sobrecargas, tendo como inconveniente elevado índice de ruídos.

#### *2.5.2.2 Transmissões flexíveis*

Segundo Budynas e Nisbett (2016) as transmissões flexíveis são utilizadas para transmissão de movimento ou potência em grandes distâncias, substituem eixos, mancais e engrenagens em alguns casos, simplificando o projeto e reduzindo o custo. Também são interessantes para absorver e isolar vibrações e absorver choques.

## **2.6 Comandos elétricos**

Os comandos elétricos têm como função levar as fases até um motor elétrico ou outro componente por exemplo, e, fazem com que o operador não entre em contato com o sistema de força (NASCIMENTO, 2018). O autor acrescenta que nesta tarefa de controlar um equipamento e seu circuito de comando podem ser utilizados botões pulsadores e chaves comutadoras.

Os botões são dispositivos de comando com contatos abertos e fechados utilizados para abrir ou fechar circuitos. Nascimento (2018) destaca que cor do botão normalmente está associado à sua função, o Quadro 3 apresenta o significado das cores. A segunda opção de comando são as chaves comutadoras, que também abrem e fecham circuitos elétricos, mas mantêm a posição, diferentemente dos botões pulsadores. Existem chaves que combinam também a função de pulsador. Fialho (2011) acrescenta que os dois dispositivos de comando são apresentados com construções normalmente aberta e normalmente fechada.

Quadro 3 - Botões de comando.

<b>Cor</b>	<b>Significado</b>	<b>Exemplo de Aplicação</b>
Vermelha	Emergência	Desligar, parada de emergência, desativar, interromper...
Amarela	Intervenção	Rearmar ciclo automático
Verde	Partir, ligar	Partida de sistema em geral, energização
Azul	Funções auxiliares	Reset, reset de terminos
Branca	Funções auxiliares	Ligar sistemas auxiliares
Preta	Uso geral, exceto emergência	Partida de sistema em geral (secundários), energização
Cinza	Uso geral, exceto emergência	Funções auxiliares

Fonte: Nascimento (2018).

A sinalização é aplicada em vários ramos de atividade, Nascimento (2018) afirma que nos sistemas elétricos é ainda mais importante, sendo necessário sinalizar quando uma máquina está em operação, um painel está energizado ou ocorreu uma parada inesperada. Os dispositivos de sinalização podem ser acústicos ou visuais, onde buzinas, sirenes e apitos são exemplos de dispositivos acústicos que podem atuar como um alarme de emergência por diversos motivos (FIALHO, 2011). Nascimento (2018) acrescenta que os indicadores luminosos são utilizados em diversas cores, o Quadro 4 mostra o significado das cores mais utilizadas para sinalização.

Quadro 4 - Sinalização luminosa.

<b>Cor</b>	<b>Significado</b>	<b>Exemplo de aplicação</b>
Vermelha	Emergência, condições perigosas	Operações críticas, condição de atenção, alarme
Amarela	Condição Anormal	Valores críticos, desarmes
Verde	Normal	Pronto para partir, painel em condições de operação
Azul	Outras Funções	Funções diversas de preparação
Branca	Outras Funções	Funções diversas, máquina em movimento, sistema energizado

Fonte: Nascimento (2018).

Existem diversos dispositivos voltados a regulação, os contatores são responsáveis pela manobra do motor elétrico, e segundo Nascimento (2018) tem a função de abrir e fechar uma série de contatos elétricos. Existem também contatores auxiliares que trabalham apenas com contatos de controle para o circuito elétrico. Os relés temporizadores são utilizados quando a necessidade de contar tempo para iniciar, parar ou mudar de operação. Fialho (2011) afirma que o relé temporizador também é um comutador de contatos, porém, após um determinado tempo. Os potenciômetros regulam as tensões de baixa intensidade nos circuitos e reostato tem a mesma função para correntes de alta intensidade. Os transformadores permitem elevar ou reduzir a tensão alternada.

Os sistemas elétricos necessitam de dispositivos de proteção. Nascimento (2018) frisa que a utilização destes elementos pode evitar incêndios, derretimentos de isolamento de cabos e outros efeitos destrutivos gerados por falhas nos sistemas elétricos. Os principais elementos de proteção disponíveis são disjuntores, disjuntores motores, fusíveis de ação rápida, fusíveis de ação retardada, disjuntores diferenciais residuais e relés de proteção. Fialho (2011) destaca que os fusíveis são ligados em série com o circuito a ser protegido, protegendo contra curto-circuito, e deve ser dimensionado para uma corrente 20% acima da normal. Os disjuntores tem a função de chave e de proteção, utilizando o princípio do par bimetálico assim como os relés térmicos, ou seja, quando aquecidos deformam, causando o desarme.

Existem diversos tipos de sistemas de partida, na sequência é apresentado um resumo das possibilidades segundo a obra de Nascimento (2018), que destaca ainda que algumas destas partidas protegem mais o motor elétrico, outras são mais atraentes do ponto de vista custos, outras disponíveis no mercado e outras resolvem problemas de picos na partida:

- Seccionadores de gaveta e painel: chaves utilizadas para cortar a energia aplicada para que o circuito possa sofrer intervenção de forma mais segura. Também podem ser instalados dentro de painéis, sendo que a manopla fica com a alavanca de acionamento na parte externa da porta.
- Chaves de partida manual: existem chaves para motores monofásicos e para motores trifásicos. Nos monofásicos existem a partida direta, a reversora e a série paralela, já nos motores trifásicos existem partida direta, reversora, estrela triângulo e para motor de duas velocidades. Este tipo de partida apenas conecta a tensão de alimentação ao motor, o que pode acarretar em um pico indesejado de tensão na partida quando utilizar partida direta ou reversora e um problema ainda maior na reversão dos motores trifásicos. Nos monofásicos isso pode ser

amenizado com a partida em série paralelo e nos trifásicos com a chave estrela triângulo que tem funções semelhantes.

- Dispositivos eletrônicos de partida: hoje já são comuns nas indústrias, no entanto, se mal dimensionados ou instalados podem causar diversos problemas. Os principais dispositivos são as *soft-starters*, os inversores de frequência e os servoconversores. As *soft-starters* que tem como função partir o motor elétrico de forma suave, dentro de uma aceleração programada, eliminando assim problemas de picos de tensão. Os inversores de frequência além de partirem o motor elétrico, tem como principal função variar a velocidade dos motores elétricos de indução. Já os servoconversores que apesar de ser uma opção de partida, tem seu uso sempre associado a um servomotor.

É bastante comum que um equipamento industrial conte com um painel elétrico, que segundo Geraldi et al. (2017), tem como função receber energia elétrica através de uma ou mais fontes e tendo o objetivo principal de proteger a instalação elétrica e distribuir para circuitos parciais menores, função ainda de unir ou separar as partes integrantes do sistema elétrico, permitindo realizar manobras de seccionamento, comando de aparelhagem externa, medição de grandezas e proteção de todos os componentes integrantes do painel. Nascimento (2018) acrescenta que o painel deve segurar mecanicamente os efeitos de um incidente interno, diminuindo efeitos negativos externamente.

## **2.7 Aços disponíveis para construção**

Nesta seção foi feito um resumo sobre as características dos aços de construção mecânica em chapas ou barras, especialmente os disponíveis na indústria fabricante de equipamentos florestais cenário da presente pesquisa e que podem ser aplicados no projeto e na construção do equipamento a ser concebido como fruto desta pesquisa. Também foi importante avaliar aspectos relacionados a solda, levando em consideração consumíveis e processos disponíveis na empresa cenário do estudo, já que o primeiro irá compor o equipamento fundindo-se com o aço escolhido e o segundo se escolhido ou executado inadequadamente pode ser um ponto gerador de problemas.

### 2.7.1 Aços para construção de estruturas

A maioria das estruturas soldadas são construídas em aço ferríticos, aços que normalmente contém até 0,30% de carbono e 1,50 % de manganês (BRANCO et al., 1999). Os autores afirmam ainda que estes são os aços de maior utilização industrial, e que podem ser subdivididos em diversos grupos, mas os principais são: aços ao carbono e ao carbono-manganês; aços de alta resistência microligados.

O aço ASTM A 36 é um dos aços disponíveis em chapas na empresa cenário do presente trabalho, ele é classificado por Branco et al. (1999) como um aço ao carbono com microestrutura do tipo ferrita-perlita, e dentro deste grupo como um aço estrutural de uso geral. López et al. (2016) complementa que este é um aço de baixo carbono e Almendariz-Puente et al. (2021) que o ASTM A-36 é o aço mais comum e comercial no Equador, fato que se repete em muitos países, e acrescenta que lá é bastante utilizado na construção de estruturas, como por exemplo pontes, Branco et al. (1999) acrescenta que é utilizado na construção naval e petroquímica.

Os aços de alta resistência microligados tem as mesmas características de resistência mecânica dos aços C-Mn, mas possuem melhor soldabilidade e tenacidade. Mas pode-se ainda obter melhorias em tenacidade e até em resistência mecânica pelo uso de tratamentos térmicos ou termomecânicos apropriados, como tratamento de refinação de grão, normalização, termomecânico de laminação controlada e tratamento de têmpera e revenido (BRANCO et al., 1999).

O aço ASTM A-572 grau 50 é outro aço disponível na indústria de implementos florestais do presente estudo. Segundo Branco et al. (1999) o ASTM A-572 é um dos aços microligados de alta resistência normalizado, com adição dos elementos de microliga de nióbio e vanádio, que produzem reações de endurecimento por precipitação de nitretos e carbonitretos que conduzem a formação de ferrita de grão fino, que permite também a redução de carbono. Almendariz-Puente (2021) afirma que o ASTM A-572 é um aço soldável e que possui melhores características mecânicas que o ASTM A-36, e que por isso é possível reduzir a espessura e peso em estruturas como pontes e carrocerias quando é aplicado o ASTM A-572.

Em algumas espessuras também estão disponíveis na fábrica os aços conhecidos comercialmente como Usi Sar 700, Strenx 700 ou Quend 700, que atendem a norma EN 10025-6. Segundo Branco et al. (1999) estes aços são classificados como aços microligados de alta resistência, temperados e revenidos, e normalmente contém cromo, molibdênio e níquel, contando com boa soldabilidade.

A fábrica dispõe ainda dos aços martensíticos de alta resistência a abrasão de dureza superficial na faixa de 450 Brinell, que são conhecidos comercialmente como Hardox 450, Quard 450, Ravur 450 e Usi Ar 450. Fraga et al. (2017) aponta que estes aços são aplicados em tratores, retroescavadeiras, caçambas de caminhões fora de estrada, tremonhas, revestimentos de calhas, transportadores de minérios, peças de altos-fornos, entre outros. Os autores afirmam ainda que aços resistentes à abrasão com adições de elementos de liga e temperados, permitem atender critérios de maior vida útil e produtividade, com menos tempo de inatividade para os equipamentos, tendo como principal característica a alta dureza, apresentam boa soldabilidade e, em alguns casos, boa tenacidade.

### 2.7.2 Aço para construção de elementos complementares a estrutura

Após construir a estrutura de um equipamento na maioria das vezes é necessário construir elementos de ligação, de transmissão de movimentos, entre outras possibilidades necessárias, alguns exemplos podem ser a construção de cilindros hidráulicos ou pneumáticos, cremalheiras, engrenagens, buchas, pinos, entre outros diversos elementos, esta subseção apresenta os aços disponíveis na empresa cenário deste estudo e que podem ser aplicados no equipamento a ser desenvolvido neste trabalho.

O aço mais aplicado na empresa é o SAE 1045, que segundo Robledo e Cárdenas (2011) também é muito usado na Colômbia e em todo o mundo, e é considerado um aço ao carbono e também um aço de médio carbono. Os autores acrescentam ainda que se usados de modo adequado, o SAE 1045 também pode ser usado tratado termicamente. É bastante relevante o apontamento de Guillén et al. (2017) mostrando se aplicado um procedimento adequado de soldagem, é possível utilizá-lo soldado. O aço SAE 1045 pode ser aplicado na fabricação de eixos em geral, cilindros, equipamentos ferroviários, engrenagens, virabrequins e em peças para máquinas que necessitam elevada resistência mecânica (LEITE et al., 2017).

O SAE 1020 é um aço de baixo carbono e conta com microestrutura composta de ferrita e perlita. Segundo Este et al. (2004), é o mais comum e econômico utilizado como aço para cementação, possui excelente soldabilidade e boa usinabilidade. É utilizado em componentes mecânicos como engrenagens e pinos fusíveis em implementos agrícolas, entre muitas outras possíveis aplicações.

O aço cromo-níquel-molibidênio SAE 8640, segundo Silveira et al. (2018), é considerado um aço de baixa liga, apresenta elevada resistência mecânica e ótima temperabilidade, usinabilidade e forjabilidade, substituindo muitas vezes o SAE 1045. É

bastante empregado na fabricação de engrenagens, pinos, eixos, componentes de máquinas e motores, como virabrequins e pistões.

Fecham as possibilidades de aço disponíveis na indústria cenário da presente pesquisa o aço ST 52. O ST 52 é apontado como um aço de baixo carbono sendo um aço bastante utilizado na construção de pontes de aço e também utilizados na fabricação de camisa de cilindro hidráulicos (IPEKOGLU et al., 2019). A Tabela 1 apresenta as propriedades mecânicas dos aços estruturais citados nas seções 2.8.1 e 2.8.2.

Tabela 1 - Propriedades dos aços.

Aço	C	Si	Mn	P	Al	Cu	Nb	Ti	Cr	Ni	Mo	Va	S	Lim. Esc.	Lim. Res.	Along.	Certificado
ASTM A 36	0,160	0,190	0,080	0,024	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,009	341 Mpa	476 Mpa	42%	Baumann
ASTM A 572-50	0,140	0,280	1,380	0,016	0,048	0,010	0,027	0,018	0,020	0,010	0,010	0,000	0,000	434 Mpa	529 Mpa	27%	Gerdau
SAE 1020	0,130	0,140	0,680	0,032	0,000	0,010	0,000	0,000	0,030	0,010	0,000	0,000	0,011	i.i.	i.i.	i.i.	AçoVisa
SAE 1045	0,460	0,200	0,690	0,026	0,000	0,310	0,000	0,000	0,100	0,140	0,026	0,000	0,024	429 Mpa	783 Mpa	14%	Açotubo
SAE 8640	0,382	0,230	0,760	0,011	0,012	0,142	0,000	0,000	0,410	0,400	0,150	0,000	0,008	i.i.	i.i.	i.i.	AçoVisa
ST52	0,200	0,250	1,520	0,013	0,000	0,000	0,000	0,000	0,160	0,000	0,000	0,000	0,013	520 Mpa	718 Mpa	14%	Marvitubos
UsiAr 450	0,200	0,160	1,200	0,018	0,038	0,010	0,029	0,034	0,020	0,010	0,000	0,000	0,000	1171 Mpa	1295 Mpa	16%	Usiminas

Fonte: Certificados de qualidade dos fornecedores da empresa cenário do estudo.

### 2.7.3 Soldagem de aços

Na união por processo de soldagem é necessário levar em conta algumas premissas. Hernández e Delgado. (1996) afirma que é necessário selecionar o material adequado e também o procedimento correto, isso quer dizer que é necessário um projeto e dimensionamento adequado da estrutura a ser soldada, controle da fonte de calor, seleção adequada dos consumíveis, eletrodo e gás se for necessário.

Segundo Rincón et al. (2013) as principais falhas em soldas são causadas por processos de soldagem inadequados ou por uma concentração de esforços, resultando em trincas. As trincas a quente ocorrem basicamente devido a contaminantes na poça de fusão e a tensões residuais resultantes do processo. Já as trincas a frio estão relacionadas ao carbono equivalente que é dado pela seguinte fórmula:

$$CEq = \%C + (\%Mn/6) + (\%Mo/4) + (\%Cr/5) + (\%Ni/15) + (\%Cu/15) + (\%P/3) \quad (10)$$

Onde:

%C = percentual de carbono em peso;

%Mn = percentual de manganês em peso;

%Mo = percentual de molibdênio em peso;

%Cr = percentual de cromo em peso;

%Ni = percentual de níquel em peso;

%Cu = percentual de cobre em peso;

%P = percentual de fósforo em peso.

Aços de baixo carbono, com percentual de carbono entre 0,10 e 0,25 são facilmente soldáveis por qualquer processo, e os eletrodos aplicados devem estar na faixa de 60 a 70 ksi de resistência. Aços de médio carbono, entre 0,3 e 0,5% de carbono necessitam pré-aquecimento entre 150 e 260 °C, temperatura que deve variar de acordo com a espessura do material, fato semelhante se repete nos aços de alto carbono, 0,5 a 0,9% de carbono. Porém, nestes o pré-aquecimento é ainda maior, entre 200 e 320 °C, a temperatura também varia com a espessura. Os dados anteriores, bem como as recomendações a seguir são dadas por Santos (2015), que recomenda ainda que nos aços de alto carbono um aquecimento para alívio de tensões, e eventualmente nos aços de médio carbono, em ambos os materiais a escolha do eletrodo é realizada de acordo com a resistência do material-base. São considerados aços de baixa liga, materiais com até 2% de elementos de liga no total.

A soldagem de aços pode ser realizada por diversos processos segundo Santos (2015), entre eles processo por eletrodo revestido (SMAW), Soldagem GMAW (MIG/MAG), Soldagem GTAW (TIG), Arco Submerso (SAW), Soldagem Arames Tubulares (FCAW), Soldagem por Resistência Elétrica.

Existem diversos tipos de eletrodos, rolos de arame (sólido ou tubular) ou varetas, e o metal de adição também pode variar bastante, estando disponíveis em diferentes resistências mecânicas. O eletrodo deve ser escolhido de acordo com os aços a serem unidos. Existem também alguns processos que não utilizam eletrodos. A Tabela 2 a seguir apresenta as propriedades dos eletrodos disponíveis na empresa cenário deste trabalho.

Tabela 2 - Composição química (% de peso) arame sólido.

<b>Eletrodo</b>	<b>C</b>	<b>Si</b>	<b>Mn</b>	<b>P</b>	<b>S</b>	<b>Cr</b>	<b>Mo</b>	<b>Ni</b>	<b>V</b>	<b>Cu</b>
ERS70S-6	0,09	0,91	1,53	0,014	0,011	0,022	0,003	0,008	0,002	0,09
E 90 C G H4	0,06	0,40	1,40	<0,025	<0,025	0,50	0,20	1,00	0,00	0,00
ER 120S-G	0,10	0,80	1,80	-	-	0,35	0,60	2,30	-	-

Fonte: Certificado da Qualidade Böhler (2020).

O segundo consumível fundamental nos processos GMAW e GTAW é o gás. Segundo o trabalho de Tatagiba et al. (2012) o gás tem a finalidade de proteger a poça de fusão contra efeitos nocivos do oxigênio. Os autores acrescentam que o gás pode ser inerte, ativo ou uma mistura destes dois tipos, e segundo a natureza e composição do gás ele terá influência nas características do arco e no tipo de transferência metálica, na velocidade de soldagem, na formação de respingos, na penetração e no formato do cordão de solda. Os gases de proteção mais utilizados na soldagem de aço carbono são o Argônio, o dióxido de carbono e o hélio, puros ou misturados. Eventualmente se adiciona oxigênio que aumenta respingos.

Santos (2015) afirma que no processo MAG com argônio proporciona um arco mais estável, aumenta a frequência de transferência das gotas e reduz a frequência de curto-circuitos e trabalha-se com arco mais longo. O CO<sub>2</sub> obtém-se arco mais concentrado e de boa profundidade.

## 2.8 Equipamentos florestais

A revisão apresentada até este momento tratou de diversos aspectos ligados ao projeto e construção de um equipamento para montagem da maior parte dos implementos florestais construídos pela indústria cenário do presente trabalho, o equipamento para montagem deverá montar três principais famílias de equipamentos, a dos cabeçotes multifuncionais, garras de carregamento e garras traçadoras. Nas subseções posteriores será explanado o que é cada equipamento e suas funções.

### 2.8.1 Cabeçotes multifuncionais

Os cabeçotes multifuncionais também são chamados de *fellers* direcionais de sabre no Brasil, ou *directional fellers* na América do Norte. O trabalho de Cechin (2000) afirma que este tipo de cabeçote possui um sistema similar ao do corte efetuado com a motosserra, que cortam

e depositam as árvores diretamente nas pilhas. O fabricante cenário desta pesquisa fez atualizações melhorias no desenho dos *fellers* direcionais, e desta forma estes equipamentos passaram a executar mais duas funções de forma mais adequada, o traçamento de feixes de árvores em toras e o carregamento das toras produzidas durante o traçamento.

Cechim (2000) salienta que existem cabeçotes *feller* com três tipos de sistema de corte, sabre com corrente, disco com dentes de corte e com lâminas. O equipamento a ser montado é composto por diversos componentes, como o corpo principal ou chassi, coluna de inclinação, unhas ou garras que pegam as árvores ou as toras, cilindros hidráulicos, motor hidráulico, válvulas, pinos, buchas, parafusos, rolamentos, mangueiras hidráulicas, conexões hidráulicas e sabre com corrente de corte. A Figura 9 a seguir apresenta um cabeçote multifuncional.

Figura 9 - Cabeçote Multifuncional J de Souza MJ 800.

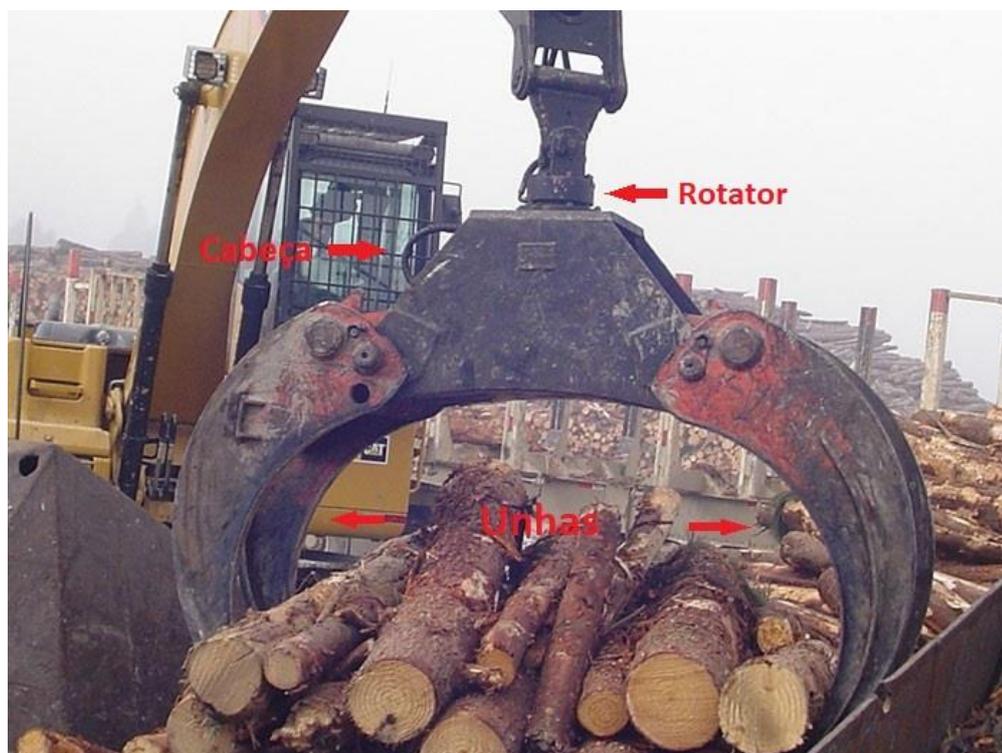


Fonte: [www.jdesouza.com.br](http://www.jdesouza.com.br)

### 2.8.2 Garras de baldeio de toras

Na operação de carregamento, segundo Fiedler et al. (2008) um carregador florestal é posicionado próximo a pilha de madeira, desloca sua lança em direção à pilha, acionando a garra e prendendo o feixe de toras, depois desloca a lança até o caminhão abrindo a garra e liberando as toras. Em resumo a garra florestal tem a função de pegar as toras em um ponto e soltá-las em outro. É o equipamento mais simples dos três a serem montados no equipamento de montagem de equipamentos florestais, é composta de uma cabeça ou mesa, duas garras ou unhas, um cilindro hidráulico, pinos e buchas. Este equipamento pode ser acoplado em escavadeiras, pontes rolantes, tratores com guias e pás carregadeiras como apresentado na Figura 10.

Figura 10 - Garra J de Souza GJ 1000r.



Fonte: [www.jdesouza.com.br](http://www.jdesouza.com.br)

### 2.8.3 Garras traçadoras

As garras traçadoras segundo Machado (2014) têm ganho muito espaço em substituição as motosserras na atividade de transformação das árvores em toras, o equipamento trabalha na maioria das vezes acoplado a uma escavadeira, pega feixes de árvores empilhadas no chão e as corta transformando as árvores em toras. O equipamento é composto de uma garra e mais um ou dois traçadores acoplados a garra como na Figura 11 a seguir. A garra é composta de uma cabeça ou mesa, duas garras ou unhas, um cilindro hidráulico, pinos e buchas. O traçador é composto de um corpo principal ou chassi, cilindros hidráulicos, motor hidráulicos, válvulas, mangueiras e conexões hidráulicas, acoplamentos, sabre e corrente de corte.

Figura 11 - Garra Traçadora J de Souza TJL Dupla.



Fonte: [www.jdesouza.com.br](http://www.jdesouza.com.br)

## 2.9 Conclusão da revisão bibliográfica

Neste capítulo foi possível conhecer um pouco mais sobre as formas de produção existentes, na busca de um de processo similares com a situação estudada, e foi possível verificar que em diversos tipos de processos é observar características utilizadas na produção de implementos agrícolas, mas máquinas dedicadas a montagens específicas são mais comuns em linhas de produção ou montagem com escala de produção relevante.

Na sequência foi estudado sobre a automação de processos industriais no segmento metalmeccânico Brasil e no mundo, também buscou-se fazer uma apuração da situação das indústrias metalmeccânicas fabricantes de máquinas e implementos agrícolas no Brasil e no mundo. Foi possível verificar que de modo geral a automação é mais fortemente empregada nas grandes indústrias multinacionais, principalmente fabricantes de máquinas autopropelida como colheitadeiras por exemplo ou máquinas base como tratores que utilizam implementos agrícolas como ferramenta acoplada ou rebocada.

Superado a tentativa de identificar o estado da arte das indústrias metalmeccânicas fornecedoras do ramo agrícola, incluindo sub-ramo florestal, foi feito uma revisão do já consagrado procedimento metódico de Pahl et al. (2005). Ficou claro que o método é uma excelente alternativa para o projeto e desenvolvimento do equipamento de montagem de implementos florestais. É necessário a aplicação as quatro fases do procedimento.

O capítulo foi finalizado com temas mais técnicos da engenharia mecânica e da construção de máquinas, lembrando que o procedimento metódico recomenda abstração, estar aberto a várias possibilidades para projeto, desta alguns meios para movimentação e acionamento dos implementos foram estudados como movimento por elementos hidráulicos, engrenagens, elementos flexíveis para transmissão, acionamentos hidráulicos, acionamentos elétricos, um resumo sobre as características dos diversos aços e consumíveis de soldagem disponíveis na indústria fabricante de implementos florestais. Estes temas são bastante relevantes nas fases 2 e 3 do procedimento de Pahl et al. (2005).

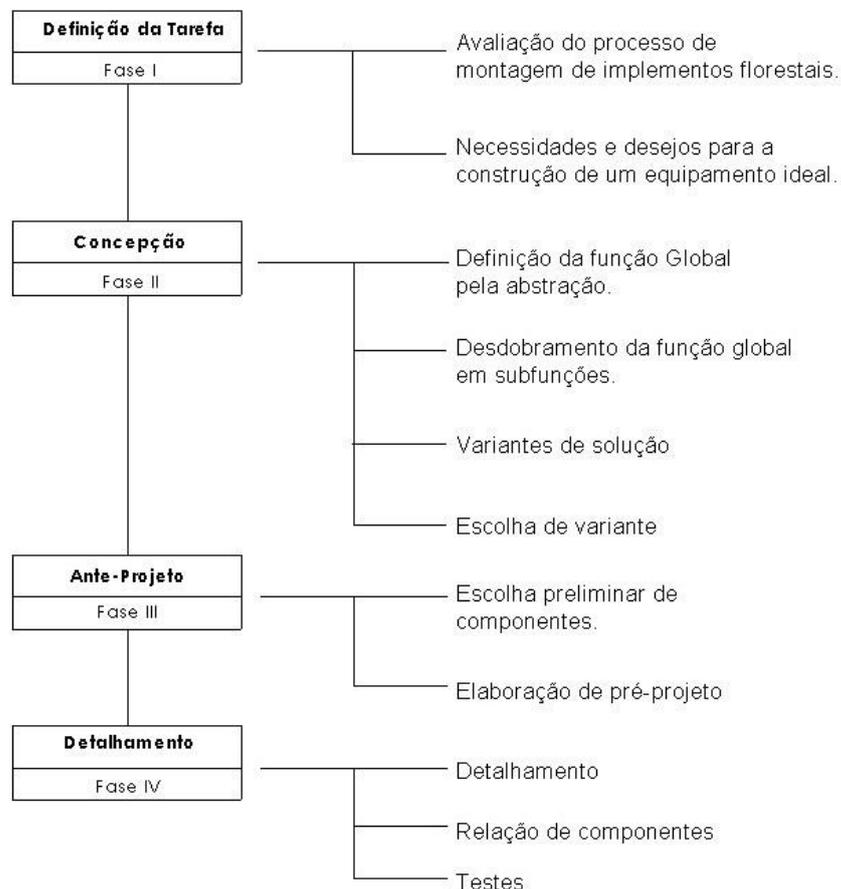
### 3 DESENVOLVIMENTO

O projeto do equipamento foi desenvolvido seguindo o procedimento metódico proposto por Pahl et al. (2005), aplicando suas quatro fases de projeto, que culminou no projeto do equipamento fabricado para melhorar o processo de montagem de equipamentos florestais da indústria cenário deste trabalho.

A seção 3 aborda as fases I e II do procedimento metódico de Pahl et al. (2005), iniciando pela fase de planejamento. O primeiro passo foi a observação de como a montagem era feita até o momento do início da pesquisa, posteriormente foram coletadas informações que culminaram na lista de requisitos. Finalizada a primeira fase, avançou-se para a fase de concepção, que teve como principal ferramenta a matriz morfológica.

A terceira e quarta fase foram incluídas na seção 4, onde foram introduzidas e detalhadas, mas a Figura 12 a seguir apresenta um esquema de como as quatro fases do processo metódico de Pahl et al. (2005) foi adaptado para o desenvolvimento do dispositivo de montagem de implementos florestais.

Figura 12 - Aplicação do método projetos para o presente estudo.



### 3.1 Avaliação do processo de montagem de implementos florestais

A empresa que é cenário deste trabalho tem enfrentado dificuldades no processo de montagem de equipamentos florestais, especialmente com retrabalhos, defeitos de pintura e risco de acidentes. Acrescenta-se ainda que a área comercial reporta que os equipamentos são bastante elogiados pelo desempenho e durabilidade, mas que alguns clientes manifestam certa insatisfação com o acabamento dos equipamentos, mais especificamente sobre a pintura.

Na busca por esclarecer o problema, foi feita uma coleta de informação com os atores envolvidos no gerenciamento e execução dos processos finalização dos implementos florestais na empresa cenário. A sequência se deu por um acompanhamento do processo de montagem no chão de fábrica, foram feitos registros fotográficos e coleta de tempos, com foco em entender de forma clara qual o problema a ser solucionado. As Figuras 13, 14 e 15 na sequência mostram como é realizada a montagem sem o uso de um equipamento especializado e ajudam a entender o processo e suas deficiências.

A Figura 13 mostra duas situações em que a pintura é danificada por atrito com o solo e pela cinta de poliéster.

Figura 13 - Montagem de implemento florestal.



Fonte: O Autor (2019).

A Figura 14 mostra a pintura da lateral da garra sendo danificada durante uma mudança de posição necessária para montar o cilindro e os braços estabilizadores.

Figura 14 - Garra florestal movimentada com auxílio de cintas de poliéster.



Fonte: O Autor (2019).

A Figura 15 mostra a montagem de um pino forçando o mecânico montador trabalhar em posição pouco ergonômica, além da pintura da parte superior da garra já estar bastante desgastada por atrito com o solo.

Figura 15 - Montagem de pino em garra florestal.



Fonte: O Autor (2019).

A seguir é apresentada a Tabela 3 que resume a coleta de tempos para auxiliar no entendimento do problema. Em uma simples análise da tabela já é possível observar a importância de reduzir os danos a pintura, já que o tempo médio gasto com repintura responde por mais de 34% do tempo da montagem final. Também demandam tempo relevante outras quatro atividades, com tempos próximos a 10% do tempo total de trabalho, sendo eles a montagem das unhas, montagem dos cilindros e braços estabilizadores, repasse da rosca com macho mais colocação dos parafusos e teste final.

Tabela 3 - Coleta de tempos montagem de garras florestais.

<b>Modelo Garra / Tempo (min)</b>	<b>GJ 300r</b>	<b>GJ 580s</b>	<b>GJ 400s</b>	<b>GJ 1000sr</b>	<b>GJ 1000sr</b>	<b>GJ 300r</b>	<b>Média</b>
Tempo setup	1,50	2,50	9,00	2,26	3,04	1,68	3,33
Montagem unhas	17,00	19,50	15,45	20,33	6,22	10,18	14,78
Alinhamento olhais	6,50	6,50	6,00	8,17	6,00	12,67	7,64
Montagem braços	13,00	7,44	7,25	10,25	7,32	4,25	8,25
Virar garra	1,00	4,84	2,20	6,00	15,26	1,84	5,19
Retifica buchas/braços	0,00	18,56	16,20	0,00	3,50	0,00	6,38
Montagem cilindro, braços	12,50	19,58	32,00	11,16	22,00	8,34	17,60
Retifica soldas alta	0,00	0,00	10,20	17,84	23,50	0,00	8,59
Repasse macho + parafuso	12,00	10,43	16,05	26,71	13,50	7,17	14,31
Colocação graxeiros	1,20	5,50	1,20	5,00	12,00	3,51	4,74
Retifica de batentes	0,00	0,00	9,38	0,00	0,00	0,00	1,56
Teste final	15,00	18,85	19,30	15,00	15,27	8,19	15,27
Repintura	53,00	64,00	90,00	49,00	54,00	32,00	57,00
Total	132,70	177,70	234,23	171,72	181,61	89,83	164,63

Fonte: O Autor (2019).

A entrevista com os atores envolvidos, pesquisa *in loco* e imagens colhidas no setor de montagem evidenciam algumas deficiências, sendo as principais, necessidade constante de retoques na pintura, o que ocasiona baixa qualidade do acabamento final do produto enviados aos clientes, e em alguns casos até repintura total.

Na fase final da montagem o equipamento florestal tem suas funções hidráulicas testadas, neste momento é necessário a participação de dois técnicos, um operando uma unidade hidráulica e outro cuidando das mangueiras e observando funcionamento do equipamento em testes.

Por fim observa-se que em alguns momentos o técnico montador fica em posições pouco ergonômicas para manipulação de partes pesadas como cilindros hidráulicos ou colocação de um pino por exemplo. Todas estas situações causam diminuição da produtividade, que ao longo

de um mês ou um ano de trabalho se tornam muito significativas, tanto em relação a custo, quanto em relação a capacidade de produção. Há por fim alguns riscos de acidentes que precisam ser minimizados, a Figura 16 apresenta por exemplo uma escora de madeira segurando a unha, reforça ainda danos causados a pintura na forma de montagem atual.

Figura 16 - Evidências de risco de acidentes e danos a pintura.



Fonte: O Autor (2019).

### 3.2 Necessidades e desejos para construção de um equipamento ideal

Os requisitos para o projeto do equipamento foram elaborados utilizando a técnica da linha mestra para elaboração da lista de requisitos, utilizando algumas características propostas por Pahl et al. (2005) na primeira fase do procedimento metódico.

O Quadro 5 mostra os requisitos elencados para a elaboração do conceito de equipamentos de montagem de implementos florestais.

Quadro 5 - Lista de requisitos do produto.

Equipamento para montagem de Implementos florestais.			Data Última Revisão
J de Souza, Dpto de Produção, Divisão de Fabricação de Equipamentos, Setor de Montagem.			01/08/2021
Características	N/D	REQUISITOS	Responsável
Cinemática	D	Inclinar implementos florestais – 90 graus	Setor de Projetos
	N	Elevar e baixar implementos florestais	Setor de Projetos

Continuação Quadro 5 - Lista de requisitos do produto.

Características	N/D	REQUISITOS	Responsável
Custos	D	Usar materiais, componentes e mão de obra interna	Anderson
	N	Ser operado por somente um mecânico montador	Anderson
Energia	N	Gerar energia hidráulica para teste de implementos florestais, com pressão de operação de mínima de 200 bar e máxima de 280 bar e vazão entre 45 e 60 l/min	Anderson
Ergonomia	D	Ferramentas pneumáticas para auxílio	Setor de Projetos
	N	Altura variável para melhorar a posição de montagem e acesso	Setor de Projetos
Forças	N	Suspender e inclinar garras, garras traçadoras e cabeçotes multifuncionais de até 2.000 kg	Setor de Projetos
Geometria	N	Disponível espaço de 5 m x 10 m, pé direito e ponte rolante com altura máxima de 6 m.	Setor de Projetos
Manutenção	D	Realizada ao máximo pelos mecânicos montadores	Anderson
Operação	D	Controle remoto para acionamento do equipamento de montagem e o implemento em teste em teste	Terceirizado Automação
	D	Baixa emissão de poluentes, operação em prédio fechado	Setor de Projetos
	N	Baixo nível de ruído, máximo 85 dB	Setor de Projetos
	N	Ser operado um único mecânico montador	Setor de Projetos
	D	Possibilidade de testar todas as funções hidráulicas ao mesmo tempo	Anderson
	D	Evitar retrabalho de pintura	Setor de Projetos
	N	Reduzir danos a pintura	Setor de Projetos
Produção	D	Fabricação interna (empresa Cenário)	Dpto. Produção
	D	Utilizar componentes aplicados nos implementos florestais produzidos na empresa cenário	Setor de Projetos
Segurança	D	Equipamento Florestal fixado por parafusos	Setor de Projetos

Fonte: O Autor (2021).

Os itens classificados em “D” foram classificados como desejáveis e os classificados em “N” como necessários, acredita-se que se atendendo estes requisitos o equipamento entregará diversas melhoras ao processo, alcançando os objetivos principais e secundários propostos pelo trabalho.

No campo da cinemática é possível observar na montagem tradicional, sem auxílio de um dispositivo, que para melhorar a montagem do implemento seria necessário algo que o manipulasse, hora o elevando, hora abaixando e se possível o inclinando, quanto mais capacidade de movimentar o implemento florestal em montagem, mais eficiente tende a ser o equipamento de montagem, melhorando os acessos dos mecânicos montadores para instalação de componentes e manuseio de ferramentas.

O campo custos refere-se ao período de construção do equipamento e também a futura operação do equipamento. Desta forma deve aproveitar ao máximo matéria prima utilizada pela empresa cenário na fabricação da sua linha de implementos florestais, ou ainda componentes

produzidos ou comprados para aplicação nos produtos da empresa. Já quando se refere a utilização de somente um profissional envolvido na montagem de um implemento, trata-se do custo operacional, pois no sistema tradicional de montagem, no momento do teste dos implementos sempre é necessário mais de um mecânico montador e eventualmente em outros momentos, dependendo do porte do implemento ou da experiência do montador.

Na característica energia é indicado a necessidade de energia hidráulica, já que os implementos florestais que são montados contam com componentes como cilindro e motor hidráulico, e desta forma essa é uma necessidade inegociável. Já na característica ergonomia é apresentado um desejo, que cita a introdução de ferramentas pneumáticas para auxílio a montagem reduzindo esforço, e acrescenta-se uma necessidade que é tornar o processo mais ergonômico, evitando posições de trabalho incômodas como a da Figura 16.

A característica força, expõe a necessidade de elevar e inclinar implementos florestais de até 2000 kg, o que resultaria na utilização do equipamento de montagem em todos os modelos de garras traçadoras, 94% dos modelos de garras de carregamentos e 80% dos modelos de cabeçotes multifuncionais, com isso em média 99% dos implementos pedidos nestas três linhas de produtos serão montadas com o equipamento de montagem de implementos florestais. A característica geometria, na realidade somente informa as dimensões máximas que o equipamento de montagem pode ocupar.

As características de manutenção e produção, apontam como desejo a produção interna para reduzir custos, utilizar componentes conhecidos pelos mecânicos da empresa e escolha sempre que possível de componentes ou materiais que já sejam aplicados nos implementos florestais produzidos pela companhia. Estas duas características em resumo pedem a utilização de tecnologias que a empresa tenha domínio.

A característica operação foi onde mais desejos e necessidades foram apresentados, devido ao fato de a montagem dos implementos ocorrerem dentro de um prédio industrial fechado, desta forma a emissão de poluentes e ruídos deve ser a mínima possível, necessita-se que estejam no mínimo dentro de níveis que sejam possíveis proteger a saúde dos profissionais que trabalham dentro da indústria.

O acionamento do equipamento de montagem por controle remoto ajudaria a reduzir a mão de obra envolvida, possivelmente reduziria o tempo de montagem com deslocamento até painéis de controle ou comandos hidráulicos de alavanca por exemplo. Seria interessante que a unidade de geração de energia hidráulica tenha vazão e desenho hidráulico que possibilite fazer vários movimentos ao mesmo tempo.

Como último requisito da característica de operação é apontada a preocupação com o acabamento, com a pintura, deseja-se ter “zero” danos a pintura, e apontasse a necessidade de ao menos reduzir os danos a pintura. A tabela 3, já apresentada anteriormente, mostra claramente a gravidade destes danos que gastam em média 57 minutos para correção, com pico de 90 minutos. A repintura para correção dos danos a pintura representa por volta de 35% do tempo de montagem, além resultar em um acabamento inferior a um equipamento que não passe por repintura ou retoques.

### 3.3 Concepção da solução

Neste ponto do desenvolvimento, inicia-se a fase de concepção de uma solução para montagem de implementos florestais, a segunda fase do procedimento metódico de Pahl et al. (2005), o primeiro passo é o uso da técnica da abstração, o esforço mental em abstrair ideias pré-concebidas. Pouco mais a frente partiu-se para a formulação da estrutura de funções, busca e proposição de soluções e avaliação de variantes.

#### 3.3.1 Definição da função global pela abstração

Esta tarefa tem como objetivo evitar que o projetista escolha somente opções óbvias demais e ou somente aquelas que se tem pleno domínio, deixando a porta fechada para novas ideias. Considerando então os cinco passos do processo de abstração apresentado por Pahl et al. (2005) e citadas na seção 2.5 deste trabalho e o aplicando sobre a lista de requisitos (Quadro 5) apresentada na seção 3.2. O Quadro 6 a seguir apresenta os resultados das fases de abstração, e culmina com a definição da função global em sua 5ª etapa.

Quadro 6 - Abstração.

<b>Resultado da 1ª e 2ª etapas</b>
Manipular implementos florestais em montagem. Gerar energia Hidráulica a pressão entre 200 e 280 bar e vazão entre 45 e 60 l/min. Suspender implementos florestais de até 2000 kg por altura variável e inclinar 90°. Operador por somente um mecânico montador. Baixa emissão de poluentes e de ruídos (85dB). Reduzir e evitar danos a pintura.
<b>Resultado da 3ª etapa</b>
Inclinar e elevar implementos florestais.

Continuação Quadro 6 - Abstração.

<b>Resultado da 3° etapa</b>
Gerar energia Hidráulica Baixa emissão de poluentes e ruídos
<b>Resultado da 4° etapa</b>
Reduzir uso de mão de obra Melhorar e reduzir custo com pintura Construção e manutenção com componentes e mão de obra própria
<b>Resultado da 5° etapa</b>
Manipular implementos florestais em processo de montagem gerando pouco retrabalho, reduzindo o uso de mão de obra

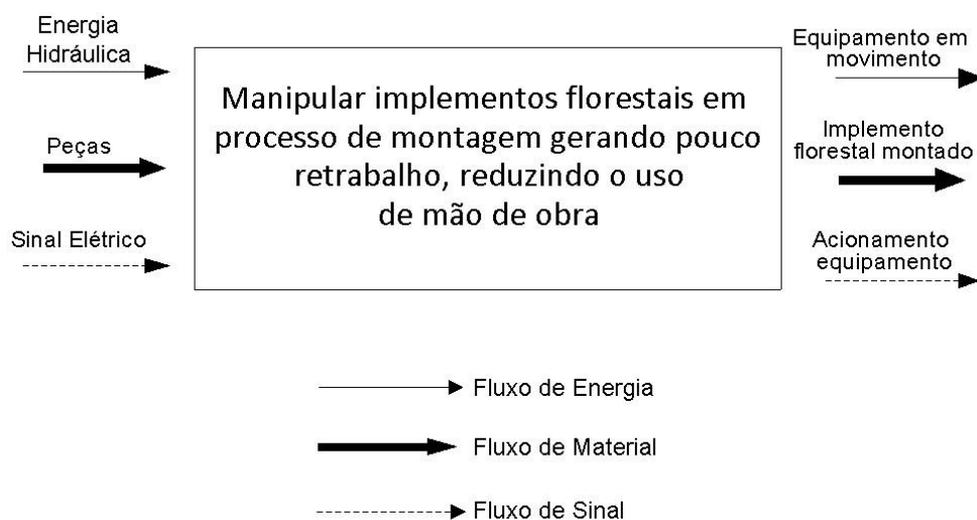
Fonte: O Autor (2021).

O resultado final do processo de abstração, a quinta etapa, norteia o estabelecimento da função global que é apresentada na seção a seguir.

### 3.3.2 Desdobramento da função global em subfunções

O resultado da abstração, pode ser visto mais claramente na Figura 17 a seguir, o fluxograma demonstra que são necessárias as entradas de energia hidráulica, peças e sinais elétricos, que possibilitam as entregas do equipamento de montagem sendo acionado e subsequentemente entra em movimento, resultando na montagem do implemento florestal. Estas entradas e saídas culminam no cumprimento da função global do equipamento de montagem de implementos florestais.

Figura 17 - Função Global e Subfunções do equipamento a ser concebido.



Fonte: O Autor (2021).

As informações relatadas nos parágrafos a seguir foram coletadas por meio de conversas com o grupo de mecânicos montadores, grupo dos projetistas, coordenador e diretor industrial, e até com o departamento comercial, assim foi possível conhecer melhor as necessidades para melhorar o processo de montagem. Existiram também diversas conversas individuais com profissionais destes grupos, e cada um apresentou sua visão do problema.

O departamento comercial, por exemplo, manifestou um certo desconforto com a aparência dos implementos, focada sobretudo na pintura, e citavam que fica visível os retoques e que apesar de estar longe de ser uma das qualidades mais desejadas em um produto aplicado em uma atividade pesada como a florestal, eventualmente escutam comentários negativos sobre a pintura, comentam ainda que quando ocorre uma feira um produto é exposto com uma pintura com danos. A direção e a coordenação industrial manifestaram preocupação com o custo gerado e o tempo perdido com o retrabalho, mostrando que acreditavam que um processo com algum nível de automação, como controle remoto por exemplo, além de outras sugestões já inseridas ao Quadro 7 apresentado mais à frente.

Os mecânicos montadores enfatizaram aspectos que dificultam a montagem dos implementos, como posições desconfortáveis para montagem e deram algumas sugestões de possíveis melhorias, como a montagem da garra virada a aproximadamente 90° para montagem de cilindros e braços estabilizadores. O departamento de projeto também sugeriu formas construtivas e alimentação energética. Somado a coleta de opiniões e sugestões, foi realizada uma ampla pesquisa bibliográfica e até algumas simulações de processos de montagem como na Figura 18, onde pode ser observado que se utilizou uma empilhadeira para testar possíveis posições que um implemento florestal em montagem poderia ser manipulado por um futuro implemento de auxílio a montagem.

A Figura 18 mostra uma garra florestal a 90° de sua posição de trabalho, posição que se mostrou a melhor para montagem dos cilindros e braços estabilizadores, também foi simulada a montagem das unhas com cabeça da garra na posição de trabalho e de “ponta cabeça”.

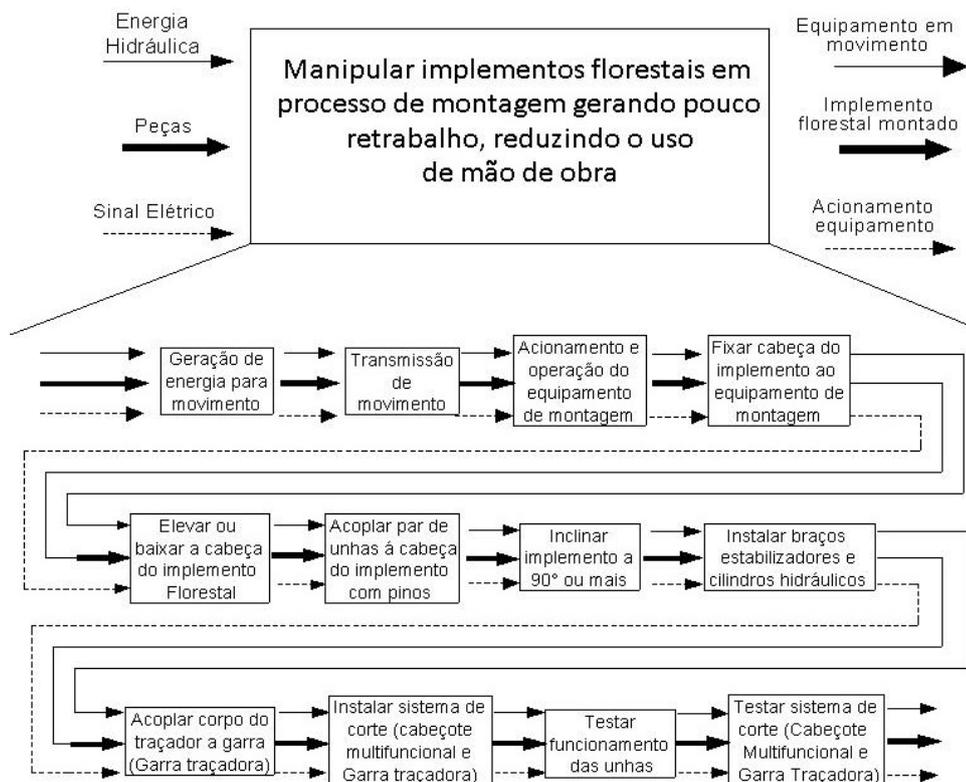
Figura 18 - Simulação de montagem de garra florestal.



Fonte: O Autor (2019).

Na busca de realizar a função global adequadamente, foram determinados uma série de subfunções como pode-se verificar na Figura 19 a seguir.

Figura 19 - Desdobramento da função global.



Fonte: O Autor (2021).

No intuito de criar variantes de soluções que atendam todas as subfunções necessárias com base nas sugestões apontadas anteriormente, na observação do processo de montagem tradicional e na simulação de montagem com auxílio da empilhadeira, foi organizado uma matriz morfológica apresentada no Quadro 7, que posteriormente também auxiliará na classificação dos possíveis princípios de funcionamento.

Quadro 7 - Matriz morfológica.

<b>Subfunções</b>	<b>Opção 1</b>	<b>Opção 2</b>	<b>Opção 3</b>	<b>Opção 4</b>	<b>Opção 5</b>
Geração de Energia para movimento	Motor Elétrico	Motor a combustão			
Transmissão de movimento	Mecânica com Engrenagens	Elementos Flexíveis	Cilindros hidráulicos		
Acionamento e operação do equipamento de montagem	Comando de alavancas manuais	Painel com botões on-off	Controle Remoto		
Fixar cabeça do implemento ao equipamento de montagem	Parafusar na furação do rotator	Magnética imã	Estilo mesa de centro de usinagem		
Elevar ou baixar a cabeça do implemento Florestal	Cilindro hidráulico como torre	Plataforma elevatória pantográfica	Coluna movida por sistema pinhão e cremalheira	Coroa sem fim movida por motor elétrico	Estilo guindaste
Acoplar par de unhas à cabeça do implemento com pinos	Martelo/ marreta manual	martelo hidráulico	martelo pneumático		
Inclinar implemento 90° ou mais	cilindros hidráulicos	sistema de engrenagens	Sistemas com correias		
Instalar braços estabilizadores e cilindros hidráulicos	Manual	braço manipulador			
Acoplar corpo do traçador a garra (Garra Traçadora)	Manual	ferramentas pneumáticas			
Instalar sistema de corte (Cabeçote Multifuncional e Garra Traçadora)	Manual	ferramentas pneumáticas			
Testar funcionamento das unhas	bomba hidráulica com comando de válvulas				
Testar sistema de corte (Cabeçote Multifuncional e Garra Traçadora)	bomba hidráulica com comando de válvulas hidráulicas				

Fonte: O Autor (2021).

É importante neste ponto esclarecer o porquê das subfunções apontadas com o objetivo de realizar a função principal.

1. Geração de energia para movimento: é necessário gerar energia para que o equipamento de montagem apresente condições mover o implemento florestal, de forma que o coloque em posições adequadas para acesso, ergonomia e segurança durante a montagem.
2. Transmissão de movimento: é necessário que a energia para gerar movimento seja transmitida ao equipamento de montagem, desta forma o implemento florestal a ser montado poderá ser elevado, baixado, inclinado, enfim, ser colocado em posições adequadas a montagem.
3. Acionamento e operação do equipamento de montagem: é a forma como os elemento de transmissão de movimento serão acionados, como passar a informação que é o momento de subir, descer, inclinar, acionar os implementos em testes.
4. Fixar cabeça do implemento ao equipamento de montagem: a montagem na forma convencional e possivelmente também na forma com auxílio de montagem começa pela chamada “cabeça”, uma espécie de peça base, tanto na construção, quanto na montagem final do equipamento. Conhecendo a informação da função da “cabeça” do implemento florestal, passa a ser necessário fixa-la ao equipamento, para posteriormente agregar as outras partes do implemento florestal.
5. Elevar ou baixar a cabeça do implemento florestal: ainda que não se conheçam os conceitos propostos neste momento do trabalho, a “cabeça do implemento florestal” será fixada na posição de trabalho, de ‘ponta cabeça” ou a 90 graus, mas qualquer que seja a forma de fixação, especialmente por questões de acesso e ergonomia ao mecânico montador envolvido, será necessário elevar ou baixar a cabeça.
6. Acoplar o par de unhas à cabeça do implemento por pinos: as unhas são acopladas a cabeça por quatro pinos, são necessários inseri-los em olhais com buchas, a folga bastante pequena, desta forma é necessário bater ou fazer outro tipo de esforço para inseri-los.
7. Inclinar o implemento florestal a 90° ou mais: independente da forma de fixação inicial da cabeça, será necessário inclinar o implemento florestal ao final, por questões de acesso e ergonomia, especialmente nos modelos maiores.
8. Instalar braços estabilizadores e cilindros hidráulicos: estes componentes são responsáveis pelo movimento entre a cabeça e as unhas, e assim como a conexão entra a cabeça e as unhas, também é feita por pinos que passam entre olhais com buchas, a diferença é que neste caso, o acesso é bastante restrito, fato que aumenta nos implementos florestais menores.

9. Acoplar o corpo do traçador a garra (Garra Traçadora): o corpo do traçador é uma espécie de chassi onde é fixado os componentes do traçador, sistema de corte, válvulas e os demais componentes. A garras para carregamento e descarregamento de toras não tem este componente que é destinado ao corte. Já o cabeçote multifuncional, apesar de tê-lo, já o tem soldado a cabeça (corpo do cabeçote multifuncional). O acoplamento do corpo traçador a garra é feito por união parafusada.
10. Instalar sistema de corte (Cabeçote Multifuncional e Garra Traçadora): o sistema de corte é parte do implemento responsável pelo corte da árvore ou do feixe de árvores, ele é aplicado nos cabeçotes multifuncionais e nas garras traçadoras. É fixo ao implemento florestal por união parafusada.
11. Testar funcionamento das unhas: as unhas são os componentes responsáveis por fazer a pega das árvores ou toras, são acionadas por um cilindro hidráulico. Neste teste é importante abrir e fechar totalmente a garra algumas vezes, verificar se o implemento consegue completar o curso total, se há ruídos estranhos, se o equipamento foi construído de forma bem alinhada e correta. Para este teste o ideal é que exista fluxo e pressão hidráulica que simulem a máquina base que receberá o implemento florestal
12. Testar sistema de corte (Cabeçote Multifuncional e Garra Traçadora): é necessário verificar se o motor hidráulico e os cilindros de movimento do sabre, o de tensionamento da corrente de corte e da lubrificação da corrente estão funcionando corretamente. Verificar se não há vazamentos de óleo em mangueiras e conexões hidráulicas. Para este teste o ideal é que exista fluxo e pressão hidráulica que simulem a máquina base que receberá o implemento florestal.

Neste ponto é importante considerar as recomendações Pahl et al. (2005) para reduzir o volume de trabalho.

- “Somente combinar o que for compatível” (Pahl et al., 2005, p.74);
- “Somente continuar o desenvolvimento de combinações que satisfaçam as exigências da lista de requisitos e das quais se espera volume de trabalho admissível” (Pahl et al., 2005, p.74).

Com o auxílio da matriz de compatibilidade foi possível para reduzir o número de possíveis variantes e conseqüentemente reduzir volume de trabalho com soluções pouco promissoras. Foram excluídas imediatamente soluções de subfunções que não atendam

requisitos classificados como necessários, além de combinações de baixa compatibilidade. O Quadro 8 a seguir apresenta cinco variantes com viabilidade e que atendem no mínimo as “necessidades” da lista de requisitos.

Quadro 8 - Matriz Morfológica com variantes.

Subfunções	Opção 1	Opção 2	Opção 3	Opção 4	Opção 5
Geração de Energia para movimento	Motor Elétrico	Motor a combustão			
Transmissão de movimento	Mecânica com Engrenagens	Elementos Flexíveis	Cilindros hidráulicos		
Acionamento e operação do equipamento de montagem	Comando de alavancas manuais	Panel com botões on-off	Controle Remoto		
Fixar cabeça do implemento ao equipamento de montagem	Parafusar na furação do rotator	Magnética imã	Estilo mesa de centro de usinagem		
Elevar ou baixar a cabeça do implemento Florestal	Cilindro hidráulico como torre	Plataforma elevatória pantográfica	Coluna movida por sistema pinhão e cremalheira	Coroa sem fim movida por motor elétrico	Estilo guindaste
Acoplar par de unhas à cabeça do implemento com pinos	Martelo/ marreta manual	martelo hidráulico	martelo pneumático		
Inclinar implemento 90° ou mais	cilindros hidráulicos	sistema de engrenagens	Sistemas com correias		
Instalar braços estabilizadores e cilindros hidráulicos	Manual	braço manipulador			
Acoplar corpo do traçador a garra (Garra Traçadora)	Manual	ferramentas pneumáticas			
Instalar sistema de corte (Cabeçote Multifuncional e Garra Traçadora)	Manual	ferramentas pneumáticas			
Testar funcionamento das unhas	bomba hidráulica com comando de válvulas				
Testar sistema de corte (Cabeçote Multifuncional e Garra Traçadora)	bomba hidráulica com comando de válvulas hidráulicas				

Fonte: O Autor (2021).

V2 V1 V4 V3

### 3.3.3 Seleção de variantes

Mesmo com uso da matriz de compatibilidade o resultado foi de quatro conceitos a serem desenvolvidos, o que resultaria em um volume relevante de trabalho, desta forma foi

lançado mão de mais uma ferramenta apresentada por Pahl et al. (2005), a lista de seleção, que é apresentada no Quadro 9 a seguir.

Quadro 9 - Lista de seleção.

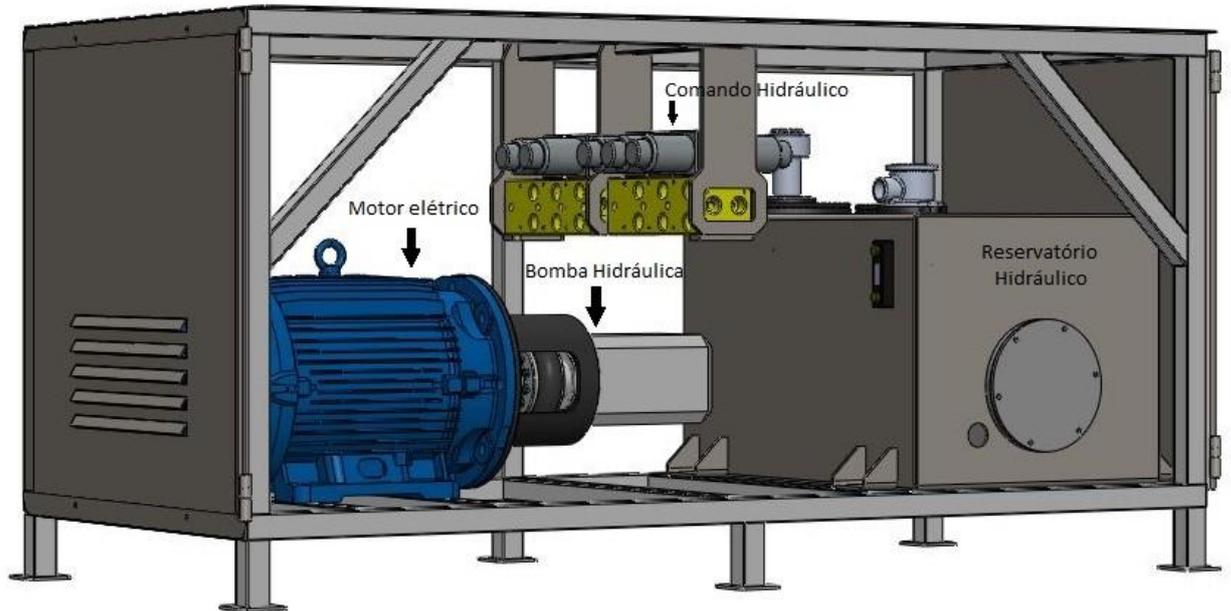
Lista de Seleção: Equipamento de montagem de implementos florestais								
Variante da solução	Critério de avaliação da variante						Decisão	
	(+) sim, (-) Não							Decidir: Marcar variantes da solução (+) continuar o desenvolvimento
	(?) Faltam informações							
	(!) Verificar lista de requisitos							(-) eliminar solução
	Observadas as compatibilidades							
	Satisfeitas as exigências da lista de requisitos							(?) Obter informação reavaliar Solução
	Em princípio realizável							
	Dispêdio Aceitável							
	Observada medidas de segurança direta							(!) Verificar lista de requisitos sobre alterações
	Preferida pela própria empresa							
A	B	C	D	E	F	Observações: (Sugestões e Justificativas)		
V1	+	+	+	+	+	+		+
V2	+	+	+	+	+	+		+
V3	+	-	+	-	+	-	Não usaria componentes internos, fixação magnética serviço externo, fabricação complexa	-
V4	+	-	-	-	-	-	Difícil realizar os movimentos por transmissão flexível, não aproveitaria componentes interno	-

Fonte: O Autor (2021).

As variantes que avançam para elaboração de conceitos depois da aplicação da seleção sistemática com da lista de seleção foram a variante 1 (V1) e a variante 2 (V2). As duas variantes necessitam de uma unidade de geração de energia hidráulica, dotada de motor elétrico, bomba hidráulica, comando de válvulas eletro-hidráulicas e painel elétrico para acionamento seus movimentos. Assim o equipamento pode ser construído em dois volumes, um como uma unidade hidráulica e o outro como a parte que manipulará e auxiliará na montagem dos implementos florestais. Desta forma a parte do equipamento responsável pela geração de energia será a mesma na V1 e na V2, já que tiveram as mesmas propostas de soluções básicas nas subfunções relacionadas a geração de energia hidráulica e acionamento remoto, o diferencial ocorrerá na parte do equipamento voltada a montagem em si.

A Figura 20 a seguir apresenta o conceito da unidade hidráulica, dotada de uma estrutura principal tubular, motor hidráulico, reservatório de óleo e bomba hidráulica, outros componentes devem ser agregados na fase III e IV.

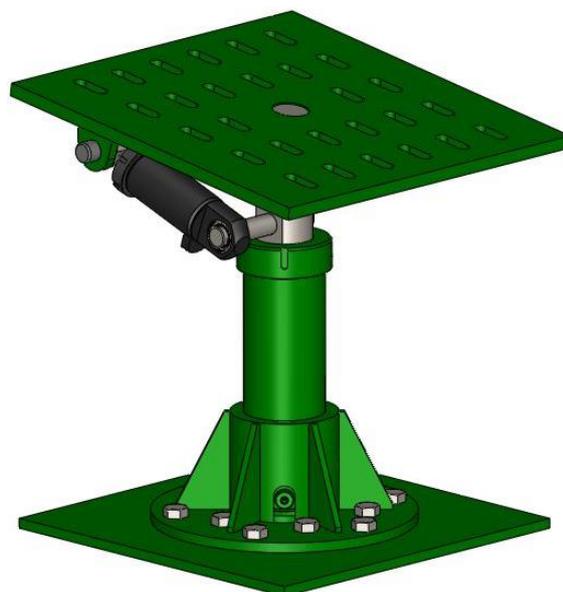
Figura 20 - Conceito unidade hidráulica, comum para V1 e V2.



Fonte: O Autor (2021).

A parte do equipamento destinada a montagem do equipamento no caso da variante V1 é mostrado na Figura 21 a seguir, neste conceito o implemento florestal será fixo ao equipamento por uma chapa com rasgos oblongados para uma fixação similar a uma mesa de um centro de usinagem.

Figura 21 - Conceito variante V1 – vista em perspectiva.

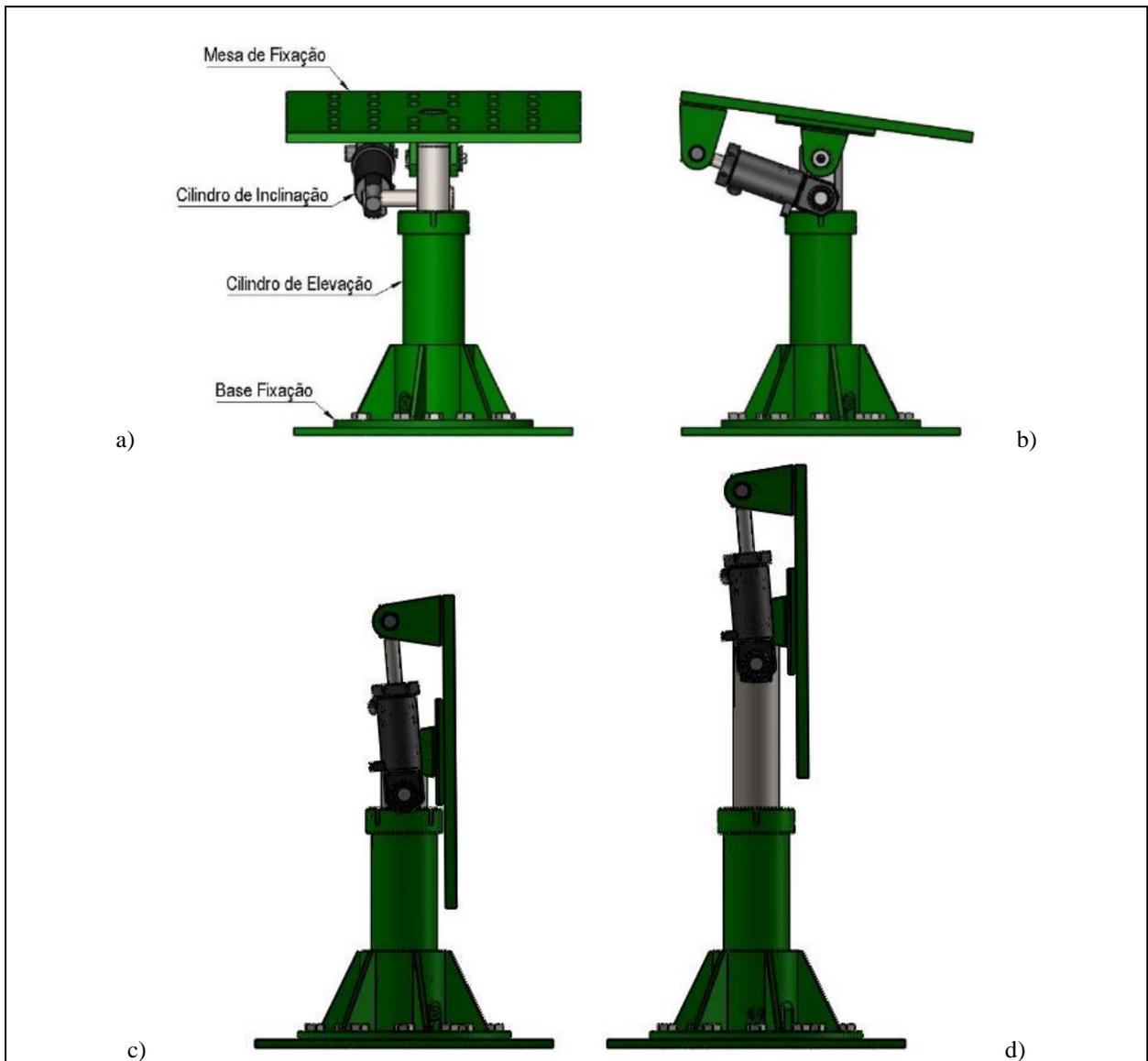


b

Fonte: O Autor (2019).

A Figura 22 apresentada na sequência mostram vistas laterais e frontais da variante V1, na vista frontal mostrada em 22a são apontados os componentes principais do conceito, a mesa de fixação, o cilindro para inclinação, o cilindro de elevação instalado em posição de coluna ou torre e base de fixação. A Figura 22b mostra a vista lateral próxima a menor inclinação e mínima elevação, as Figuras 22c e 22d mostram a mínima e máxima inclinação, respectivamente.

Figura 22 - Componentes e posições de trabalho da Variante V1. Sendo (a) componentes principais; (b) vista lateral com a menor inclinação e mínima elevação; (c) mínima inclinação; (d) máxima inclinação.

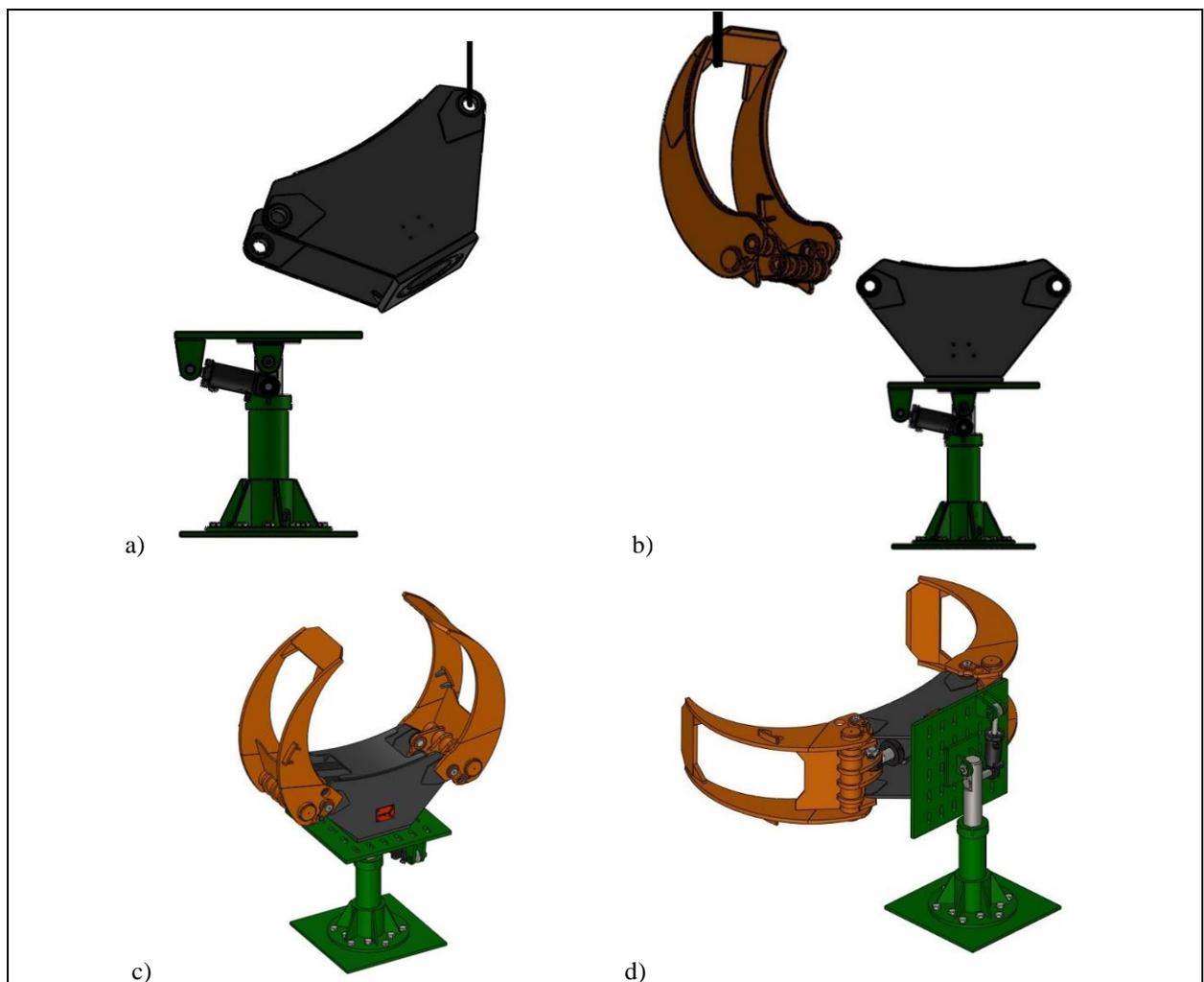


Fonte: O Autor (2019).

A Figura 23 apresenta o conceito da variante V1 em situação de trabalho, neste conceito o implemento florestal será montado de ponta cabeça. Em 23a é apresentado o início da montagem, a cabeça da garra é alçada pelo olhal de um dos pinos, já na 23b pode ser observado

a cabeça da garra florestal fixa a mesa, e a unha da garra suspensa pela cinta se aproximando para conexão com a cabeça. Na Figura 23c as duas unhas já estão conectadas, e na sequência o equipamento de montagem é inclinado para que sejam inseridos os braços estabilizadores e o cilindro hidráulico como mostrado na Figura 23d. É importante notar na Figura 23a que o cabo de aço pelo qual a cabeça está suspensa causaria atrito com a pintura, o mesmo pode ser observado na Figura 23b, já que cinta de poliéster simulada na figura até aumentaria a área de atrito com a pintura, causando ainda mais danos a pintura.

Figura 23 - Montagem de Garra Florestal no conceito de V1. Sendo (a) início da montagem; (b) cabeça da garra florestal fixa a mesa e a unha da garra suspensa pela cinta; (c) as duas unhas conectadas; (d) cilindro hidráulico.

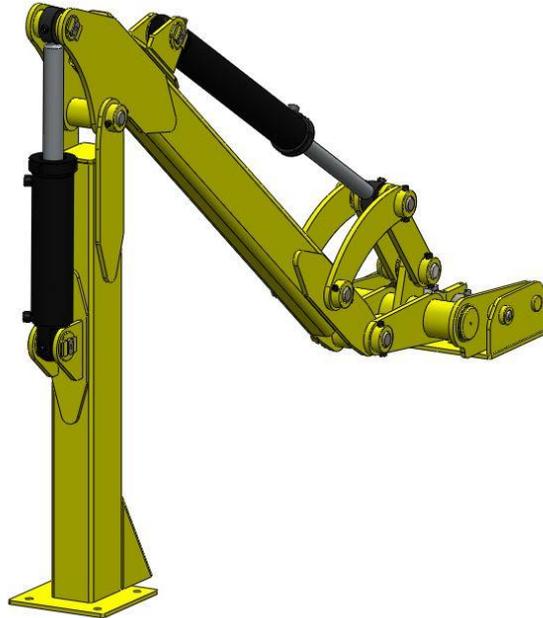


Fonte: O Autor (2019).

Assim como a variante V1, a variante V2 também utilizará a unidade de geração de energia hidráulica apresentada na Figura 20, a diferença fica por conta da parte destinada a manipulação do implemento florestal a ser montado. A Figura 24 a seguir apresenta uma vista

em perspectiva do conceito para a variante V2 com base na observação da matriz morfológica apresentada no Quadro 3.

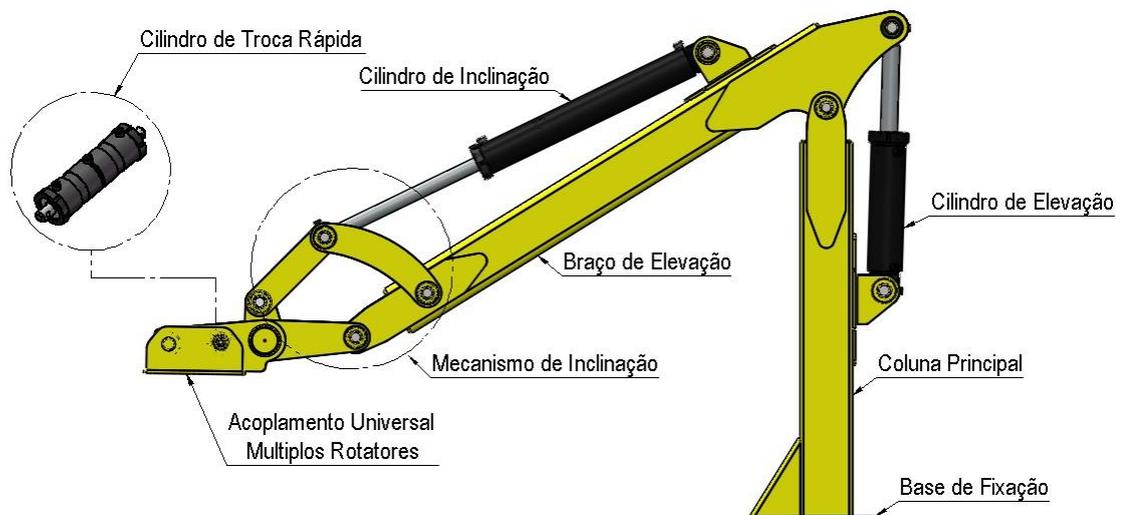
Figura 24 - Variante V2, vista em perspectiva.



Fonte: O Autor (2020)

A Figura 25 a seguir apresenta as principais partes que comporiam o equipamento de montagem caso se faça a opção pela construção da variante V2.

Figura 25 - Componentes do conceito V2.



Fonte: O Autor (2021).

A Figura 26 busca simular a montagem de uma garra florestal, na 26a o equipamento de montagem (amarelo) abaixa até a cabeça da garra (preto), nesta posição é possível fixar a cabeça do implemento florestal através da furação do rotator ao equipamento de montagem, já que este conta com um acoplamento universal para múltiplos rotatores. Na Figura 26b a cabeça da garra já está fixa e é elevada pelo equipamento de montagem, e a unha é então elevada com auxílio de uma cinta de poliéster e um pino que deve ser inserido em dois olhais, em seguida a unha deverá ser conectada a cabeça com pinos. A Figura 26c mostra o equipamento de montagem V2 baixando e inclinando o equipamento florestal, nesta posição a montagem do cilindro hidráulico e dos braços estabilizadores são montados mais facilmente. Na 26d a garra já está completamente montada, neste ponto faz-se o teste hidráulico de abertura e fechamento e ao final o equipamento pode ser fechado e colocado sobre um pallet por exemplo.

Figura 26 - Simulação de montagem de Garra Florestal na variante V2. Sendo (a) Equipamento com braço abaixado para fazer a fixação da cabeça de garra no início da montagem, (b) Braço do equipamento elevado para receber a primeira unha da garra em montagem, (c) inclinando a garra para montagem dos braços e cilindro e (d) Garra montada em teste final.

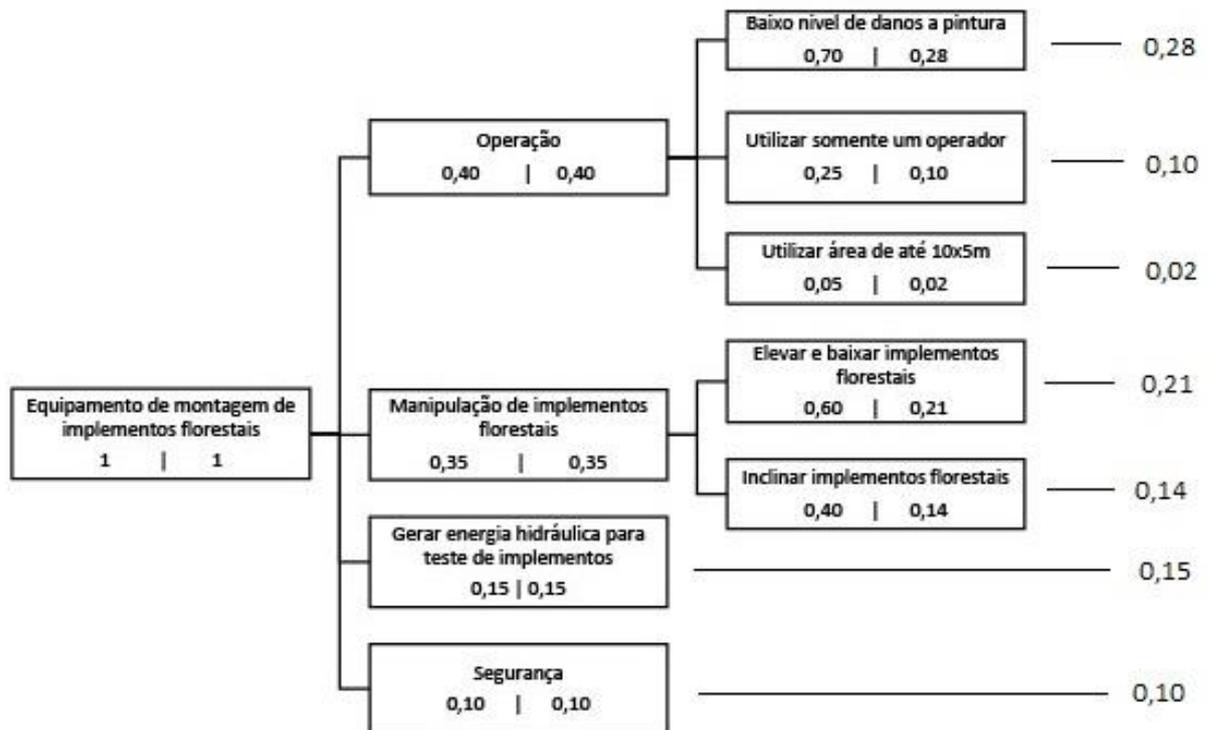


Fonte: O Autor (2021).

Após a apresentação dos conceitos da V1 e da V2 se faz necessário a avaliação e comparação das duas variantes e posterior seleção da que seguirá para a fase III, o anteprojeto. Foram utilizadas duas ferramentas recomendadas por Pahl et al. (2005), a avaliação técnico-econômica de acordo com a diretriz VDI 2225 e análise do valor de valores da engenharia de sistemas.

O primeiro passo foi a elaboração do conjunto de objetivos necessária para a análise de valor, que levou em conta sobretudo a lista de requisitos, já que o presente trabalho tem uma abordagem mais técnica. Neste ponto foi criada a árvore de objetivos, apresentada na Figura 27, estão elencadas na horizontal as metas mais complexas à esquerda e no sentido à direita são apresentadas metas as mais simples, já na vertical foram apresentadas acima as metas principais e seguindo para baixo as secundárias, estas metas foram extraídas do processo de abstração. Após a construção da árvore este autor ponderou valores entre 0 e 1 segundo a o que considerou ser mais importante ao processo, primeiro no primeiro nível, depois no segundo e por fim no terceiro e último nível neste caso.

Figura 27 - Árvore dos objetivos.



A Tabela 4 apresentada a seguir mostra uma avaliação segundo noções de valor, que utiliza atribuição de ideias de valor de benefício do avaliador dentre 0 e 10, e o procedimento de avaliação da diretriz VDI 2225 que foi a realmente utilizada para decisão no presente trabalho. Também neste caso existiu análise de valor segundo o entendimento do autor a respeito da importância de cada meta.

Tabela 4 - Avaliação.

Análise de Valor Pontos	VDI 2225 Pontos	Baixo nível de danos a pintura	Utiliza somente um profissional na montagem	Cabe em área máxima de 10 x 5 (m)	Elevar e baixar Implementos Florestais	Inclinar Implementos Florestais	Gerar energia hidráulica para teste de implementos	Segurança
0	0	Péssimo	Não	Não cabe	Nada	Nada	Não	Inseguro
1								
2	1	Ruim	Difícilmente	Difícil	Pouco	Pouco	Baixa vazão e baixa Pressão	Baixa Segurança
3								
4	2	Razoável	Talvez	Talvez Sim	Médio	Médio	Alta Vazão e Baixa Pressão	Razoável
5								
6	3	Bom	Provavelmente	Provavelmente	Bastante	Bastante	Alta Pressão e baixa vazão	Boa Segurança
7								
8	4	Excelente	Certamente	Sim	Muito	Muito	Alta vazão e alta pressão	Alta Segurança
9								
10								

Fonte: O Autor (2021)

O fechamento final da avaliação se deu com a comparação das variantes para solução do projeto e desenvolvimento de um equipamento para montagem de implementos florestais. Neste sentido foi montado uma lista de avaliação de duas variantes apresentado na Tabela 5 que mostra que a variante V2 possui o maior valor global e ainda a melhor ponderação global em relação a variante 1.

Tabela 5 - Lista de avaliação de duas variantes.

Critérios de avaliação			Variante 1			Variante 2		
n.	Características	Fator	Propriedade	Valor	Valor Ponderado	Propriedade	Valor	Valor Ponderado
1	Baixo nível de danos a pintura	0,28	Ruim	1	0,28	Bom	3	0,84

Continuação Tabela 5 - Lista de avaliação de duas variantes.

n.	Características	Fator	Propriedade	Valor	Valor Ponderado	Propriedade	Valor	Valor Ponderado
2	Utilizar somente um profissional na montagem	0,10	Certamente	4	0,40	Certamente	4	0,4
3	Utilizar área máxima de 10 x 5 (m)	0,02	Sim	4	0,08	Provável	3	0,06
4	Elevar e baixar Implementos Florestais	0,21	Médio	2	0,42	Bastante	3	0,63
5	Inclinar Implementos Florestais	0,14	Bastante	3	0,42	Bastante	3	0,42
6	Gerar energia hidráulica para teste de implementos	0,15	Alta Pressão e baixa Vazão	3	0,45	Alta Pressão e baixa Vazão	3	0,45
7	Segurança	0,10	Boa segurança	3	0,30	Alta Segurança	4	0,4
	Somatório	1,00		20,00	2,35		23,00	3,20

Fonte: O Autor (2021).

Os estudos desenvolvidos recomendaram que a variante V2 é o conceito mais apropriado a seguir para a fase III, a do anteprojeto, já nas setes características avaliadas ficou melhor classificada em três, empatou em três e perdeu somente em uma. Os destaques da variante V2 foram causar menos danos a pintura, na capacidade de elevar e baixar os implementos florestais em montagem e na segurança. Mas mesmo assim há espaço para melhoria, especialmente na área a ser utilizada pelo equipamento devido a forma de manipulação do implemento.

## 4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo foram abordadas as fases III e IV, apresentadas na revisão bibliográfica, seções 2.5.3 e 2.5.4, e também previstas na Figura 12. Estas fases entregam os resultados do trabalho, no anteprojeto foi especificado quais componentes utilizar no equipamento, se fabricá-los ou adquiri-los no mercado, e no detalhamento qual a forma construtiva exata do equipamento de montagem, como fabricá-lo e a listagem completa de componentes.

### 4.1 Esclarecimentos do anteprojeto

A atividade de anteprojeto foi iniciada pela identificação dos requisitos determinantes da configuração observando a lista de requisitos apresentada no Quadro 5 na seção 3.2:

- Determinantes do arranjo:  
Fixação do implemento florestal ao equipamento de montagem por parafusos;
- Determinante das dimensões:  
Utilizar área máxima de 10 por 5 metros. Pé direito de 6 metros;  
Elevação e inclinação de implementos florestais de com até 2000 kg;
- Determinantes de Segurança:  
Baixo nível de emissão de poluentes e ruídos;
- Outros determinantes:  
Fabricação interna na empresa cenário do estudo;  
Buscar utilizar componentes de linha da empresa cenário;

Assim tem-se a estruturação em portadores de função principal, apresentados no Quadro 10.

Quadro 10 - Portadores de função principal.

<b>Função</b>	<b>Portador da Função</b>	<b>Características</b>
Gerar Energia Hidráulica	Bomba Hidráulica	Pressão entre 200 e 280 bar e vazão entre 45 e 60 l/min
Transmitir movimento para a bomba hidráulica	Motor Elétrico	380 V, potência para acionar Bomba Hidráulica
Armazenar Óleo Hidráulico	Reservatório	Sem resfriador
Suportar os componentes da unidade hidráulica	Estrutura da Unidade Hidráulica	Aço tubular
Força para elevar e baixar implementos florestais	Cilindro Hidráulico	Elevar carga de até 2000 kg
Força para inclinar implementos florestais	Cilindro Hidráulico	Inclinar carga de até 2000 kg

Continuação Quadro 10 - Portadores de função principal.

Função	Portador da Função	Características
Prender implementos	Acoplamento universal	Fixar implemento de até 2000 kg
Acionamento	Rádio transmissor	Acionar remotamente
Acionamento	Comando eletro-hidráulico	Acionar componentes hidráulico
Base de sustentação do equipamento	Coluna Principal	Construída em aço
Elevar e baixar implementos	Braço de manipulação	Construída em aço

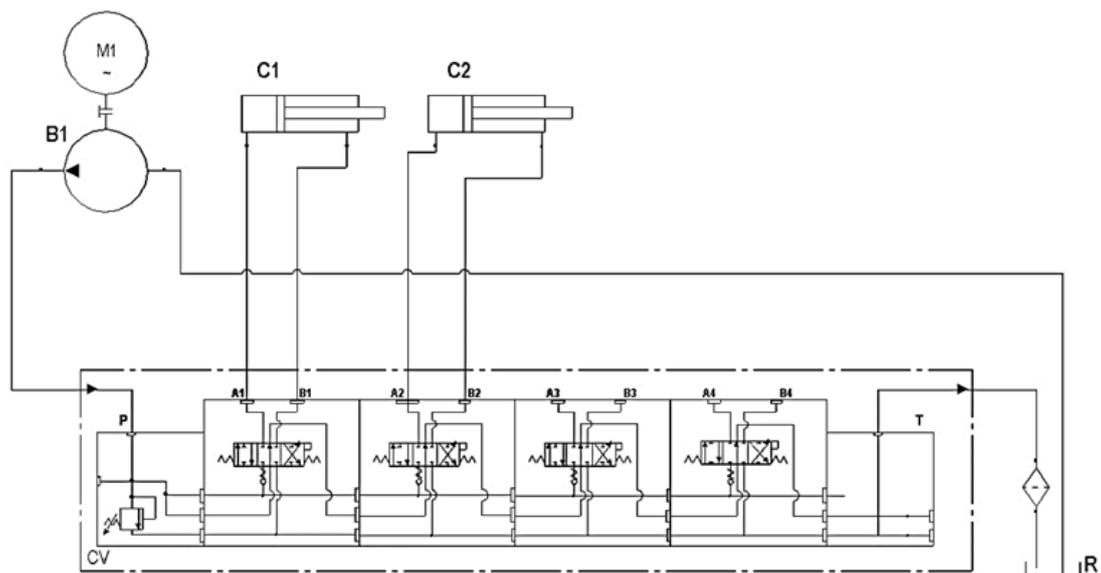
Fonte: O Autor (2021).

## 4.2 Especificação e dimensionamento de componentes principais

Nesta seção serão determinados que tipos de componentes aplicar ao equipamento, sendo que há três possibilidades de itens a aplicar: itens especiais a serem fabricados pela empresa cenário, itens que já compunham a linha de fabricação da empresa cenário e aplicação de itens comerciais fabricados em série por terceiros.

A Figura 28 a seguir representa os principais componentes do circuito hidráulico da unidade de geração de energia hidráulica, onde M1 representa o motor elétrico, B1 a bomba hidráulica, C1 o cilindro de elevação, C2 o cilindro de inclinação, CV o comando de válvulas direcionais e por fim o reservatório de óleo R. As portas A1, B1, B2 e B3 alimentam os cilindros do dispositivo, já as portas A3, B3, A4 e B4 ficam disponíveis para testar componentes hidráulicos do implemento florestal a ser montado e testado.

Figura 28: Circuito hidráulico dispositivo de montagem.



Fonte: O Autor (2021).

#### 4.2.1 Bomba hidráulica

Conforme apresentado na seção 2.5.1, existem quatro tipos de bombas possíveis para aplicação na unidade de geração de pressão e fluxo hidráulico que alimentará o implemento de montagem de equipamento florestais, bombas de engrenagens, palhetas, pistão ou parafuso. Porém, as duas primeiras trabalham com pressão máxima na casa de 200 bar, a última é extremamente cara e como a lista de requisitos pede pressões de trabalho variável entre 150 e 350 bar, desta maneira foi necessário a escolha de uma bomba de pistões. A escolhida foi a bomba VA2f de 45 cc/rev da Vista Hydraulics.

A escolha pela série VA2f aconteceu porque a marca é um fornecedor frequente da empresa cenário, e também atende os requisitos técnicos, tanto em pressão de trabalho, quanto em vazão. O modelo de 28 cc/rev foi escolhido porque quando acionado por um motor elétrico a aproximadamente 1750 rpm gera uma vazão pouco acima de 50 l/min, já que o modelo imediatamente menor disponível pela marca, gera menos de 40 l/min a rotação de 1750 rpm, abaixo dos 45 l/min que pode ser necessário para montagem e teste dos implementos florestais. A Figura 29 a seguir mostra uma bomba da série V A2f.

Figura 29 - Bomba de pistões série V A2f.



Fonte: [www.vistahydraulics.com.br](http://www.vistahydraulics.com.br) (2021).

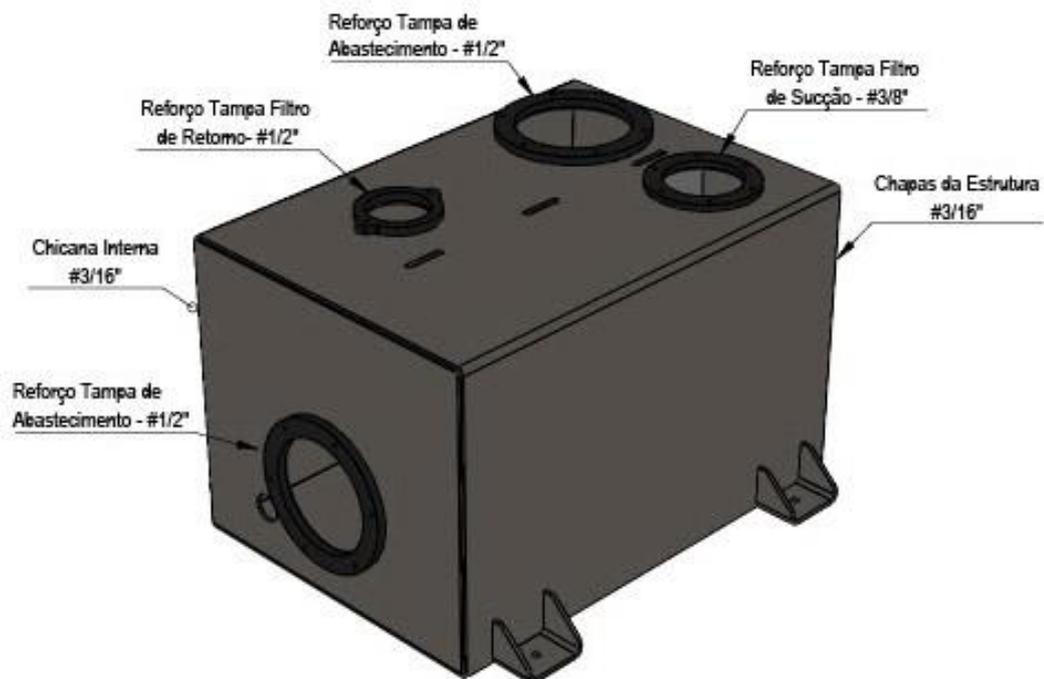
#### 4.2.2 Reservatório hidráulico

Neste caso optou-se por utilizar uma unidade hidráulica sem radiador de óleo, e utilizou-se a regra prática proposta por Fialho (2011) na seção 2.6.1, que determina que o reservatório deve ter no mínimo 3 vezes a vazão máxima do sistema, o que resulta em um reservatório similar ao da Figura 30 com capacidade mínima de 150 l.

A empresa-cenário dispõe de modelos padrões capacidade de 140, 180, 260, 700 e 1000 litros, todos construídos em chapas aço ASTM A-572 grau 50 com espessura de 3/16" dobradas e soldadas. O ASTM A 572 é um excelente aço estrutural e um dos mais econômicos disponível na empresa cenário. Foi escolhido o modelo com capacidade de 180 litros que está pouco acima dos 150 litros calculado pela regra prática.

O reservatório hidráulico conta ainda com alguns componentes essenciais como bocal de enchimento com peneira, filtro de sucção e filtro de retorno, sendo que os três itens têm objetivo de eliminar ou reduzir danos por eventuais contaminações do sistema hidráulico, protegendo e prolongando a vida. O filtro de sucção retém partículas maiores que 150  $\mu\text{m}$  e suporta vazões até 80 l/min, e o filtro de retorno retém partículas maiores que 10  $\mu\text{m}$  e suporta vazões de até 250 l/min. A Figura 30 a seguir mostra a forma construtiva do reservatório.

Figura 30 - Reservatório de óleo J de Souza.



Fonte: O Autor (2019).

#### 4.2.3 Estrutura equipamento da unidade de geração hidráulica

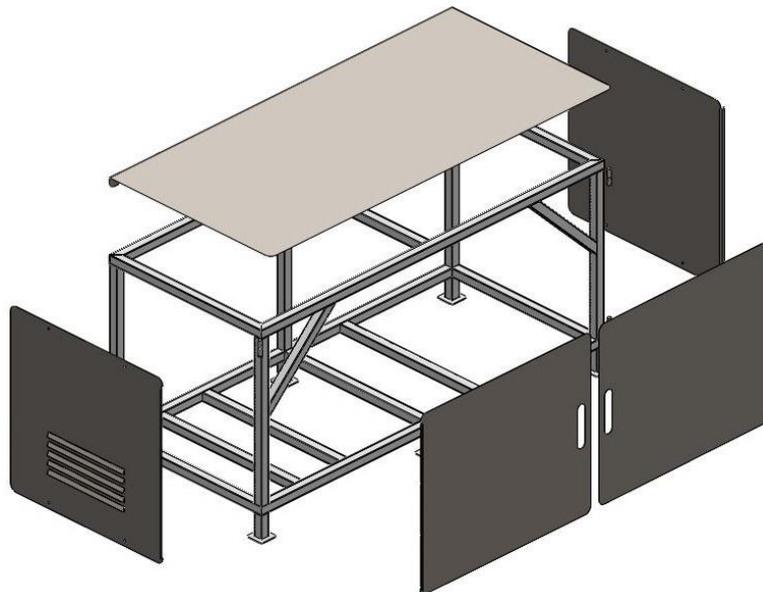
A parte estrutural do equipamento da unidade de geração não passa por grandes esforços mecânicos, e tem como maior função embarcar componentes como reservatório de óleo, comando hidráulico, bomba hidráulica e motor elétrico, atuando como o chassi principal do

equipamento. A maior solicitação mecânica que o equipamento sofre é de vibração, porém, isto é facilmente amenizado com uso de coxins.

Considerando-se estas informações foi especificado tubo quadrado de aço SAE 1020 unido por soldagem com eletrodo ERS70S-6 que apresenta limite de escoamento superior ao escolhido e já é aplicado em outras unidades de geração de energia hidráulica produzidas pela empresa cenário, entretanto, com dimensões adequadas ao motor elétrico, bomba e comando hidráulico necessário para atender os requisitos do projeto. O gás de soldagem será o dióxido de carbono em argônio 20%.

No intuito de tornar o equipamento mais seguro e ainda atender a NR-12 para que partes rotativas do equipamento não fiquem expostas, foram construídas proteções em chapa de aço ASTM A-36 de 1,5 mm de espessura. A Figura 31 mostra tanto a estrutura, quanto as proteções.

Figura 31 - Estrutura e proteções da unidade de geração hidráulica.



Fonte: O Autor (2021).

#### 4.2.4 Comando hidráulico

Como foi escolhido acionamento hidráulico, é necessário um comando de válvulas direcionais que direcionam o fluxo hidráulico da bomba hidráulica para a função hidráulica que o operador do equipamento de montagem necessitar acionar, inclusive concomitantemente.

Foram analisadas duas opções, a primeira foi o modelo CH 60, marca Danfoss, construção modular, eletro hidráulico 12 ou 24 voltz, vazão de até 60 l/min e capacidade máxima de pressão de até 210 bar. A segunda opção foi o modelo V Z50, marca Vista,

construção monobloco, eletro hidráulico 12 e 24 voltz, vazão de até 50 l/min, e capacidade máxima de pressão de 250 bar. Apesar de ambos estarem dentro da faixa de pressão e vazão desejada, o valor do modelo V Z50, mostrado na Figura 32, estava mais atrativo no momento da compra.

Figura 32 - Comando hidráulico Vista V Z50.

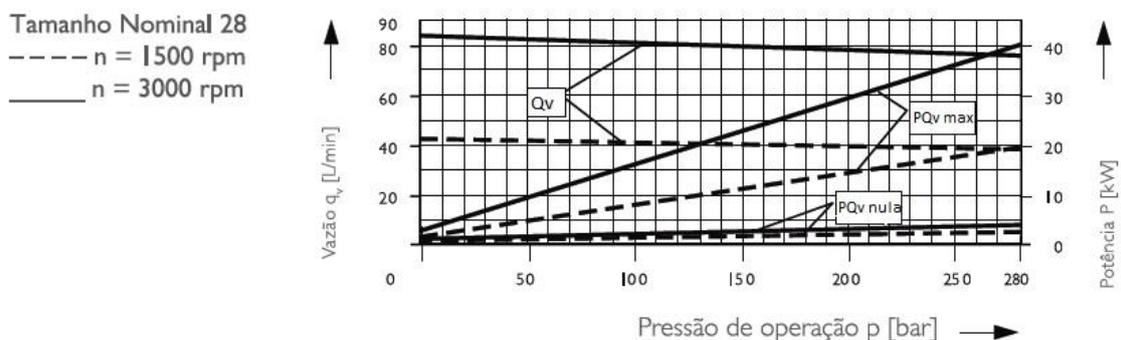


Fonte: [www.vistahydraulics.com.br](http://www.vistahydraulics.com.br) (2021).

#### 4.2.5 Motor elétrico

Com auxílio da Figura 33 abaixo foi possível encontrar a potência mínima necessária ao motor elétrico que vai acionar a bomba hidráulica. É possível verificar que à 250 bar e 1500 rpm, seria necessário um motor de no mínimo 18 cv na pior hipótese, e desta forma seria necessário um motor comercial de 20cv.

Figura 33- Potência de Acionamento x Vazão.



Fonte: Catálogo Bombas e Motores de pistão Hybel (2018).

Como de fato a rotação de trabalho será pouco acima de 1700 rpm e a empresa cenário apontou que seria importante a possibilidade de aumentar a vazão futuramente, foi escolhido um motor WEG de 30 cv, dispondo de boa reserva de potência, similar ao visto na Figura 34.

Figura 34 - Motor W22 IR3 WEG.



Fonte: [www.weg.net](http://www.weg.net) (2021).

#### 4.2.6 Radio controle

Foi utilizado um rádio de baixa potência, com transmissão digital de comandos através de um protocolo especial de comunicação, marca Evaneli, modelo T190-12SX de 12 canais.

O receptor que ficou acoplado dentro do painel elétrico tem gabinete plástico IP65, saídas de comando com relês NA de 10A - 220V, tempo de resposta menor que 100 ms, LEDs indicativos de funcionamento, proteção contra movimentos indevidos com 4 níveis de segurança, alimentação 15-48VCA/VCC ou 100-240VCA com filtro de linha e antena externa.

Já o transmissor conta com um gabinete em plástico resistente à prova de poeira e umidade, utiliza 2 baterias AA comuns ou recarregáveis com autonomia até 100 horas, permitindo todos os comandos simultaneamente (intertravamento nos reversos), e seis comandos de dupla velocidade, mais sirene e emergência. O teclado de borracha tem vida útil estimada em 5.000.000 de ciclos. Conta ainda com Painel de legendas removível, antena interna, e é programável e intercambiável, rádio digital, ISM de 900MHz (50 canais), e alcance de até 100 metros, sem obstáculos. A Figura 35 a seguir mostra o receptor e o rádio transmissor.

Figura 35 - Rádio transmissor e receptor.

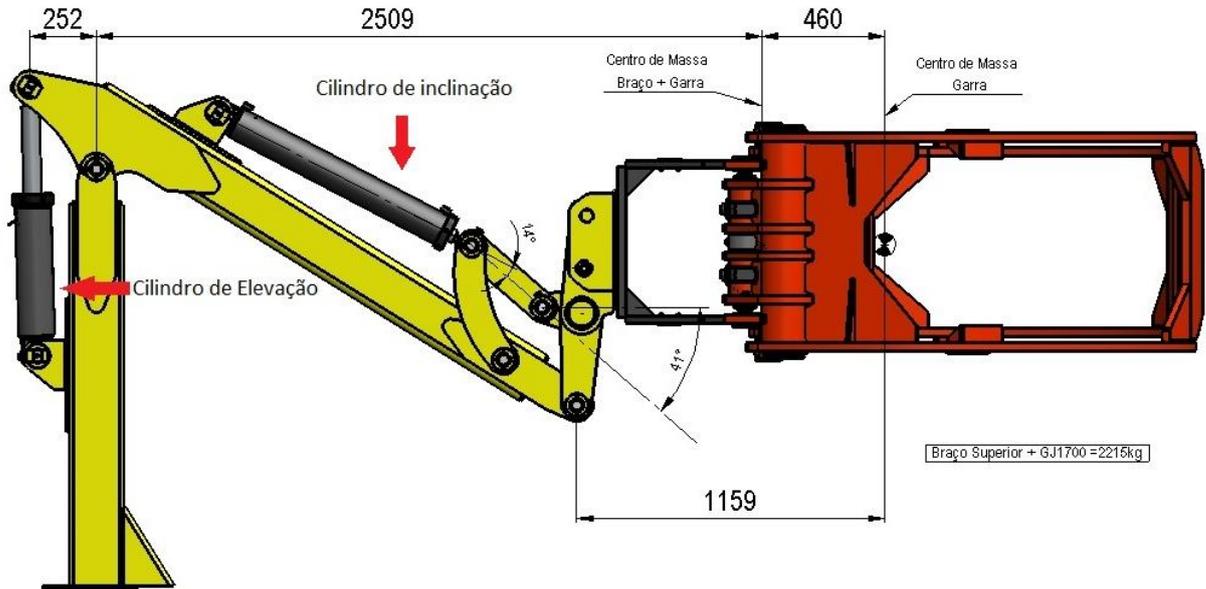


Fonte: O Autor (2021).

#### 4.2.7 Cilindros hidráulicos

O cilindro hidráulico que será responsável por elevar e baixar o implemento florestal em montagem, apresentado na Figura 36 como cilindro de elevação, tem sua maior solicitação quando estiver em movimento de fechamento. É possível observar também na figura 36 a pior condição de solicitação, nesta posição o centro de massa da carga da garra, mais do próprio braço, está a 2509 mm em relação ao vínculo com carga total de 2215 kg, e o cilindro hidráulico de elevação atua a somente 252 mm do vínculo.

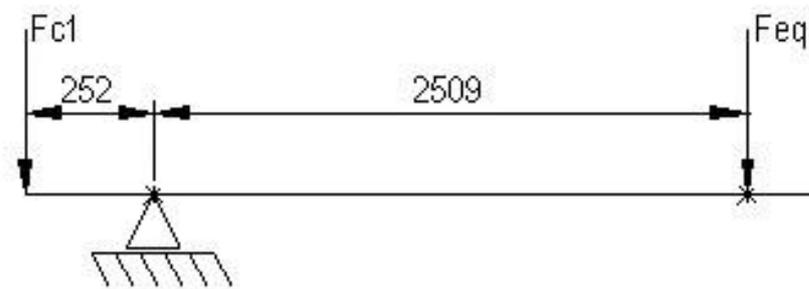
Figura 36 - Situação de maior sollicitação do cilindro de elevação.



Fonte: O Autor (2021).

A Figura 37 simplifica a atuação das cargas, considerando FC1 a força para fechar o cilindro de elevação, suspendendo o implemento florestal em montagem, sabendo-se que  $F_{eq}$  é a soma dos pesos do braço do equipamento de montagem, mais o peso do implemento florestal no centro de massa do conjunto, sabendo-se também que o vínculo é um sistema de pino e bucha que permite movimento de rotação.

Figura 37 - Atuação das forças na elevação da garra florestal GJ 2000.



Fonte: O Autor (2021).

$$M = F \times d \quad (11)$$

Onde:

M= Momento;

F= Força;

d = Deslocamento

$$F = m \times a \quad (12)$$

Onde:

m = massa;

a = aceleração

Utilizando a equação 12 temos:

$$F_{eq} = 2215 \times 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$F_{eq} = 21729,15 \text{ N}$$

Logo, fazendo o somatório dos momentos em relação vínculo mostrado na Figura 32 temos:

$$0 = (F_{c1} \times 252 \text{ mm}) + (F_{eq} \times 2509)$$

$$0 = (F_{c1} \times 252) - (21729,15 \times 2509)$$

$$F_{c1} = (54518437,35) / 252$$

$$F_{c1} = 24208,90 \text{ N.}$$

Considerando que os cilindros hidráulicos devem trabalhar com pressões entre 180 bar (18 Mpa) e 280 bar (30 Mpa) e que se deve aproveitar ao máximo componentes da empresa cenário, buscou-se aproveitar ao máximo os cilindros dos implementos florestais J de Souza ou componentes que apresentam as seguintes combinações de camisa e haste conforme a Tabela 6 a seguir.

Tabela 6 - Forças exercidas pelos cilindros J de Souza.

1		Cilindro 1	Cilindro 2	Cilindro 3	Cilindro 4	Cilindro 5	Cilindro 6	Cilindro 7	Cilindro 8
2	Ø interno Camisa (polegada)	2	2 1/2	3	3 1/2	4	4 1/2	5	5 1/2
3	Ø Haste (polegada)	1	1 1/4	1 1/2	2	2	2 1/2	3	3
4	Força Abertura a 180 bar (N)	36483,02	57004,72	82086,80	111729,26	145932,10	184695,31	228018,90	275902,87
5	Força Abertura a 280 bar (N)	56751,37	88674,02	127690,58	173801,07	227005,48	287303,81	354696,06	429182,24

6	Força Fechamento a 180 bar (N)	27362,27	42753,54	61565,10	75246,24	109449,07	127690,58	145932,10	193816,06
7	Força Fechamento a 280 bar (N)	47630,61	74422,84	107168,88	137318,05	190522,46	230299,09	272609,26	347095,43

Fonte: O Autor (2021).

Pelo critério de força necessária a 180 bar no fechamento do cilindro, todos os oito modelos de cilindro disponíveis suportam os 24208,9 N encontrado no cálculo de  $F_{c1}$ , até mesmo o cilindro 1 se aplicado rendimento de 90% indicado por Fialho (2011), já que 90% da força apresentado na linha 6 resulta em 24625 N. Mas pela proximidade do valor devida deixar uma margem maior de segurança o cilindro 1 fica excluído.

Neste ponto faz-se importante avaliar se as hastes dos cilindros 2, 3, 4, 5, 6, 7 e 8 suportariam a carga sem flambar, e para isso é importante utilizar a equação 2 apresentada em 2.5.1 para definição do diâmetro mínimo, considerando que:

Coeficiente de Segurança ( $S$ ) = 3,0;

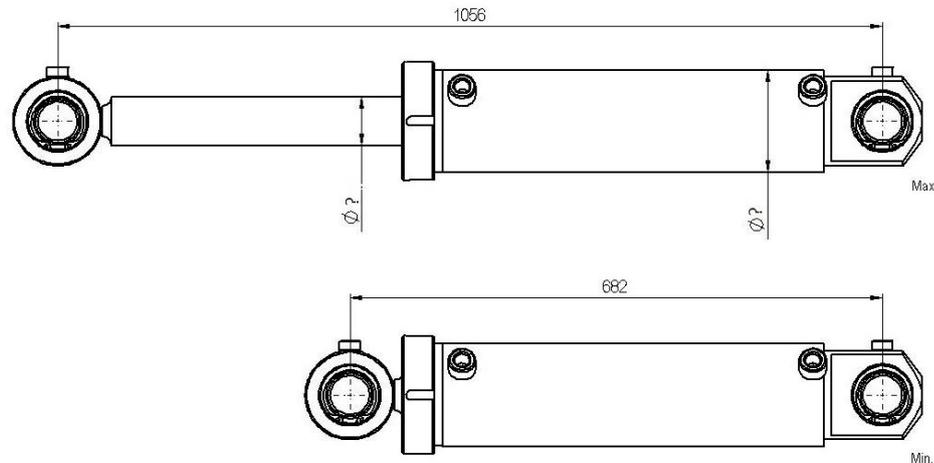
Comprimento livre de flambagem ( $\lambda$ ) = 1,056 m;

Carga máxima de trabalho para elevação do implemento ( $f_a$ ) = 24208,9 N.

Módulo de elasticidade dos Aços ( $E$ ) =  $210 \cdot 10^9$  N/m<sup>2</sup>.

Na Figura 38 a seguir retira-se o comprimento de flambagem.

Figura 38 - Cilindro de elevação aberto e fechado.



Fonte: O Autor (2021).

$$dh = \sqrt[4]{64.3.0.1.056^2.24208,9 / 3,14^2.200.10^9}$$

$$Dh = 0,039 \text{ m.}$$

Assim para movimentar o implemento é necessário no mínimo uma haste de diâmetro de 39 mm, como o cilindro 3 tem a haste bastante próxima deste valor, por segurança este cilindro foi excluído. Eventualmente o equipamento pode trabalhar com pressão de até 280 bar e isso pode gerar um impacto com o fim de curso, de forma que é interessante utilizar as equações (3) e (4) da seção 2.6.1 para verificar quais hastes suportarão o trabalho a 280 Mpa, considerando as hastes do cilindro 4, 5, 6, 7 e 8, a Tabela 7 a seguir mostra os resultados obtidos.

Tabela 7 - Momento de inércia x Carga de flambagem x modelo de cilindro.

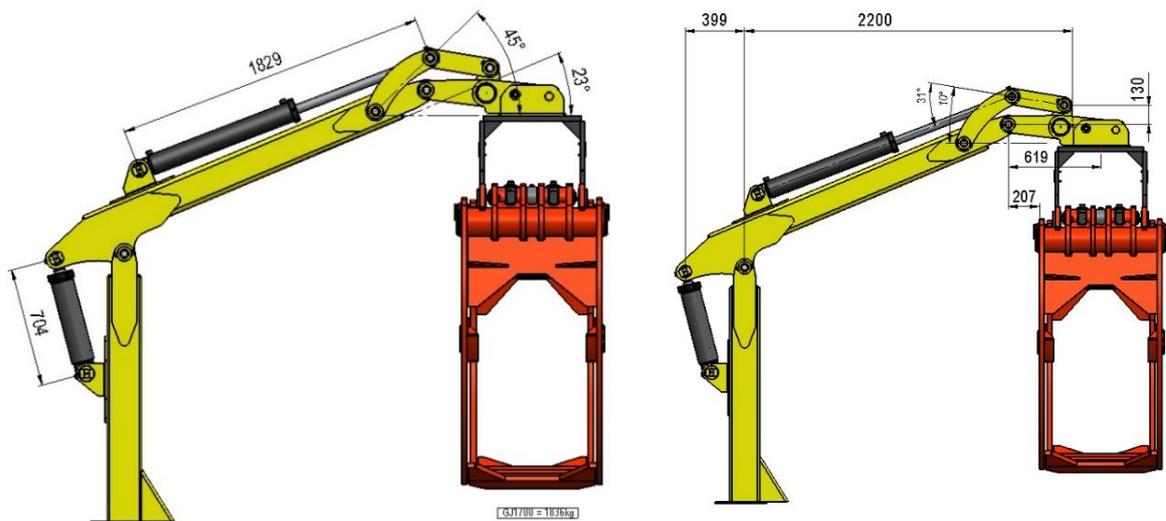
	Cilindro 3	Cilindro 4	Cilindro 5	Cilindro 6	Cilindro 7	Cilindro 8
Momento de inércia (N/m <sup>2</sup> )	1,03 E-07	3,27 E-07	3,27 E-07	7,98 E-07	1,65 E-06	1,65E-06
Carga de Flambagem (N)	96526,14	305070,3	305070,3	744800,5	1544418	1544418

Fonte: O Autor (2021).

Com base na Tabela 7, o cilindro 3 fica excluído, já que a carga necessária para iniciar a flambagem é 96,5 kN, mas observando a tabela 5, vemos na linha 5 que a força exercida pelo cilindro será de 127,69 kN, desta forma a haste de 1 1/2" flambaria.

Já o cilindro hidráulico que será responsável por inclinar o implemento florestal em montagem, apresentado na Figura 36 como cilindro de elevação, tem sua maior solicitação quando estiver em movimento de fechamento. É possível observar também na figura 39 a seguir a pior condição de solicitação, nesta posição o centro de massa da carga da garra, mais do próprio braço, está a 619 mm em relação ao vínculo com carga total de 2215 kg, e o cilindro hidráulico de elevação atua a somente 309 mm do vínculo.

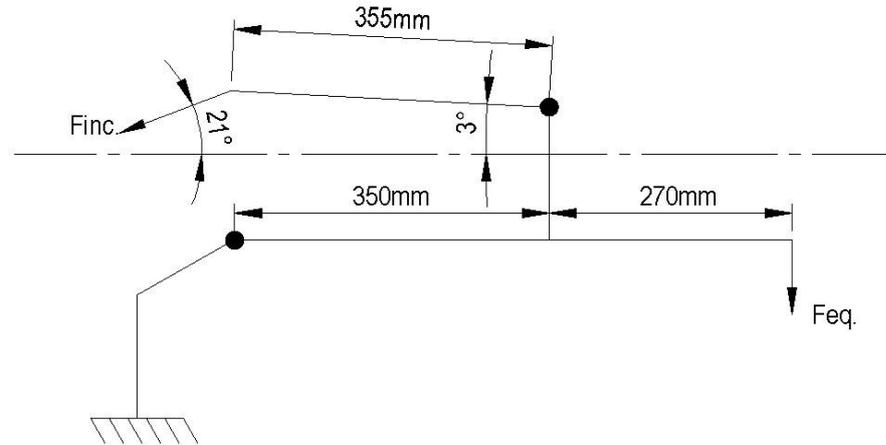
Figura 39 - Pior condição de solicitação do cilindro de inclinação.



Fonte: O Autor (2021).

A Figura 40 simplifica a atuação das cargas, considerando Finc a força para fechar o cilindro de inclinação do implemento florestal em montagem, sabendo-se que  $F_{eq}$  é a soma dos pesos do braço do equipamento de montagem, mais o peso do implemento florestal no centro de massa do conjunto, sabendo-se também que os vínculos são um sistema de pino e bucha que permite movimento de rotação.

Figura 40: Atuação das forças na elevação da garra florestal GJ 2000



Fonte: O Autor (2021).

Assim aplicando novamente a equação 12 e fazendo-se somatório dos momentos temos:

$$0 = ((0,350) \times (\text{sen } 21^\circ \times F_{inc}) + (0,620 \times 2215 \times 9,81))$$

$$0 = 0,125 \cdot F_{inc} + 12840,58$$

$F_{inc} = 102724,58 \text{ N}$ , o que já elimina os cilindros 1, 2, 3, 4 e 5 da tabela 6, quando se analisa a linha 6, fechamento a 180 bar.

Neste ponto faz-se necessário avaliar se as hastes dos cilindros 6, 7 e 8 suportariam a carga sem flambar, e para isso é importante utilizar a equação 2 apresentada em 2.5.1 para definição do diâmetro mínimo, considerando que:

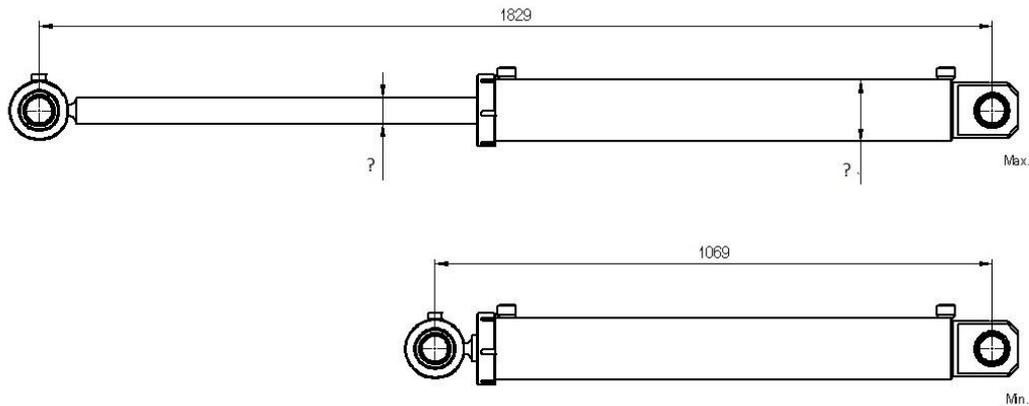
Coeficiente de Segurança (S) = 3,0;

Comprimento livre de flambagem ( $\lambda$ ) = 1,829 m obtido na figura 41;

Carga máxima de trabalho para elevação do implemento = 102724,58 N.

Módulo de elasticidade dos Aços (E) =  $210 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2$ .

Figura 41- Comprimento do cilindro de inclinação aberto e fechado.



Fonte: O autor (2021).

$$dh = \sqrt[4]{64.3,0.1,829^2.102724,58 / 3,14^2.210.10^9}$$

$$dh = 0,0751 \text{ m.}$$

Assim para movimentar o implemento é necessário no mínimo uma haste de diâmetro de 75,1 mm, desta forma somente os cilindros com haste superior a 3 polegadas de diâmetro se aproximam, desta forma somente os cilindros 7 e 8 serão aceitos. Eventualmente o equipamento pode trabalhar com pressão de até 280 bar e isso pode gerar um impacto com o fim de curso, de forma que é interessante utilizar as equações (3) e (4) da seção 2.6.1 para verificar quais hastes suportarão o trabalho a 280 Mpa, considerando as hastes do cilindro 7 e 8, a tabela 7 mostrou que 7 e 8 seriam aceitos, o que ajuda a definir como cilindro para a função de inclinação o cilindro com características de diâmetro interno e de haste o cilindro 7.

#### 4.2.8 Coluna e braço manipulador

A coluna principal e braço manipulador foram projetados de forma predominante em aço ASTM A-572 grau 50, um aço estrutural de boa resistência, boa soldabilidade e custo intermediário. Foram necessários aplicar olhais para apoio dos pinos de conexão já utilizados em outros produtos da empresa cenário que são construídos em aço SAE 1045, bem com optou-se por pinos de aço SAE 1045 temperados por indução e utilizados em equipamentos florestais J de Souza.

Foi escolhido a soldagem GMAW tipo MAG para soldagem das duas peças, com arame ERS70S-6 de 1,2 mm, que apresenta limite de escoamento e resistência pouco acima do aço escolhido. Utilizar gás de proteção Dióxido de Carbono em Argônio 20%.

#### 4.2.9 Acoplamento universal

O acoplamento universal tem a função de fixar os diferentes tipos de implementos a serem montados, ele foi projetado em aço ASTM A-572 grau 50 com uniões soldadas por processo GMAW tipo MAG com arame ERS70S-6 de 1,2 mm e gás de proteção com 20% dióxido de carbono em argônio. Olhais para passagem dos pinos também devem ser construídos em aço SAE 1045.

O equipamento é dotado de 5 tipos de furações, o que permite a montagem de equipamentos florestais fixos pela chamada “cabeça”, através das furações dos rotatores mais comuns aplicados no setor florestal, porém é possível incluir outros tipos de furações especiais que surjam futuramente.

#### 4.2.10 Pinos e buchas

Todos os pinos e buchas especificadas no equipamento são aplicadas em implementos florestais J de Souza, diâmetro de 50 mm em aço SAE 1045, tratados termicamente, sendo tempera pôr indução nos pinos e carbonitreção nas buchas. A figura 42 a seguir mostram os pinos similares aos que foram aplicados ao equipamento.

Figura 42 - Pinos de construção similar as aplicadas.

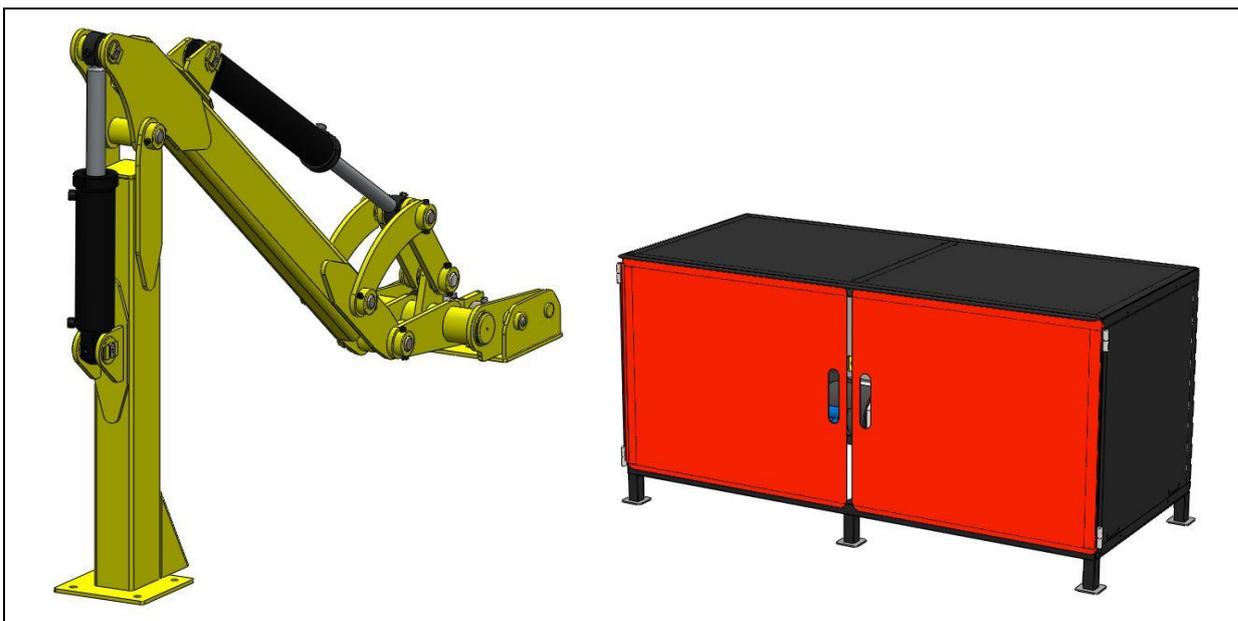


Fonte: [www.jdesouza.com.br](http://www.jdesouza.com.br) (2021).

#### 4.2.11 Conceito final

A Figura 43 a seguir mostra o conceito final escolhido e como o protótipo deverá ficar ao ser construído.

Figura 43 - Conceito final a ser detalhado.



Fonte: O Autor (2021).

#### 4.2.12 Testes em chão de fábrica

Esta última seção busca apresentar as primeiras observações no uso inicial do equipamento de montagem, porém, deve-se levar em conta que a Tabela 8 mostra a coleta de tempos de somente dois implementos montados com o equipamento fruto da presente pesquisa.

É importante salientar que a garra GJ 300s montada é um modelo que já estava em uso, e foi aproveitada para realizar um primeiro teste, desta forma não foi necessário alinhar olhais e retificá-la para ajustes. Por ser velha também não tinha pintura nova e não foi feito repintura. O segundo equipamento montado foi o a garra GJ 800r, esta completamente nova, desta forma esta medição deve ser considerada a mais fiel a realidade. É importante frisar que a empresa fabricante de implementos já produziu e montou mais de 2500 unidades pelo sistema tradicional.

Tabela 8 - Coleta de tempos montagem de garras florestais.

<b>Modelo Garra / Tempo (min)</b>	<b>GJ 300s</b>	<b>GJ 800r</b>
Tempo setup	5,0	6,0
Montagem unhas	18,0	25,0
Alinhamento olhais	0,0	5,5
Montagem braços	5,0	30,0
Virar garra	0,1	1,5
Retifica buchas/braços	0,0	0,0
Montagem cilindro, braços	8,0	7,0
Retifica soldas alta	0,0	0,0
Repasse macho + parafuso	0,0	12,0
Colocação graxeiras	0,0	2,5
Retifica de batentes	0,0	0,0
Teste final	9,0	15,0
Repintura	0,0	15,0
<b>Total</b>	<b>45,1</b>	<b>119,5</b>

Fonte: O Autor (2021).

Em uma simples análise comparativa entre a Tabela 8 e Tabela 3 da seção 3.1 foi possível observar no item *montagem cilindro, braços* a redução de tempo foi de 60% já no segundo item montado, e o principal, uma redução de 73% no tempo de repintura.

As Figuras 44 e 45 mostram respectivamente as garras GJ 300s e GJ 800r em montagem.

Figura 44 - Garra GJ 300s em montagem.



Fonte: O Autor (2021)

Figura 45 - Garra GJ 800r em montagem.



Fonte: O Autor (2021).

### 4.3 Detalhamento

Nesta seção do trabalho é apresentado detalhamento do equipamento de montagem de implementos florestais, em suas duas partes principais, equipamento de manipulação e montagem e a unidade de geração de energia hidráulica. Nas subseções 4.3.1 a 4.3.2 são detalhadas os conjuntos e partes dos equipamentos de montagem de implementos florestais.

O Quadro 11 a seguir apresenta os componentes da parte destinada auxiliar na manipulação e montagem dos implementos florestais e Figura 46 a seguir mostra a vista explodida do equipamento de manipulação e montagem.

Quadro 11 - Componentes do equipamento de manipulação e montagem.

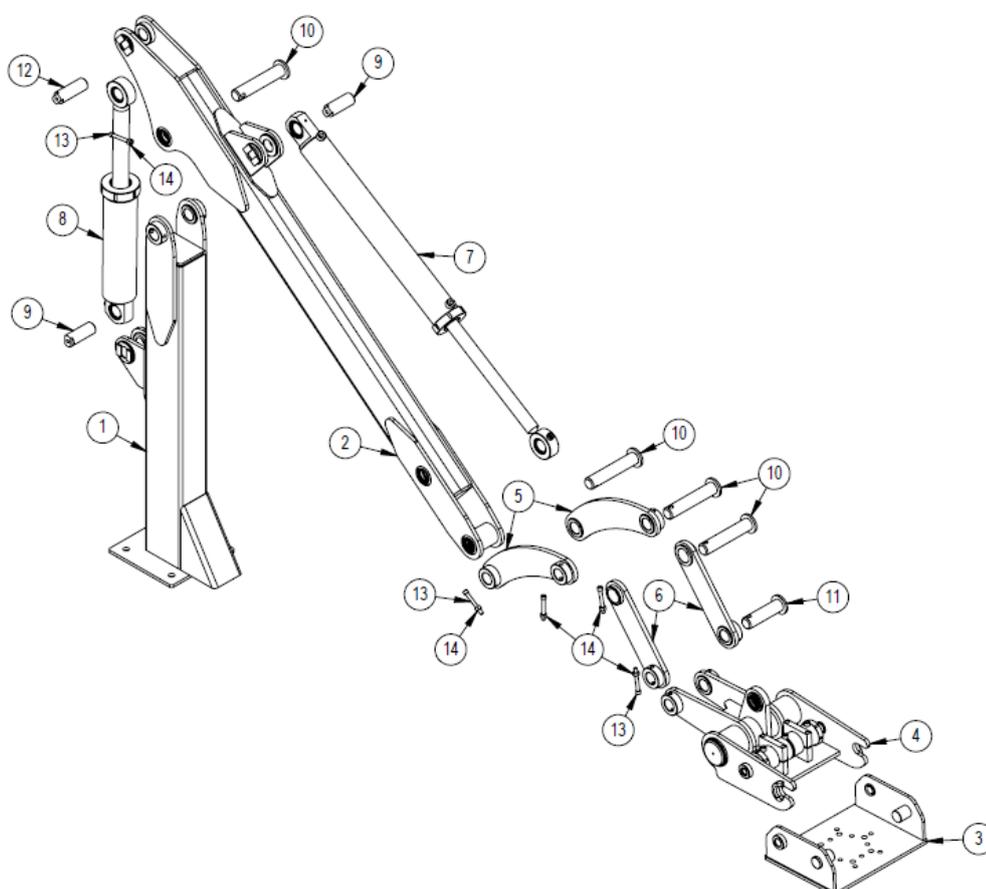
Item	Descrição	Referência	Quantidade
1	Coluna equipamento de montagem de implementos florestais	19286	1
2	Braço manipulador de implementos florestais	19221	1
3	Conjunto de Fixação do acoplamento universal	19313	1
4	Conjunto de articulação do acoplamento universal	19344	1
5	Biela Articulação com Olhal #1	19289	2
6	Biela Articulação com Olhal #2	19289	2
7	Cilindro Articulação	22869	1

Continuação Quadro 11 - Componentes do equipamento de manipulação e montagem.

Item	Descrição	Referência	Quantidade
8	Cilindro GJ580	js0029-7	1
9	Pino de Art. Braço e Unha Ø50x132	js0027	2
10	Pino com Orelha Articulação	js0953	4
11	Pino Menor com Orelha Articulação	22870	1
12	Pino Articulação dos Braços e Unhas Ø50x150	js0017	1
13	Parafuso Allen 1/2" x 1"	ed1220	5
14	Porca Sextavada 1/2"13fpp	ed0095	5

Fonte: O Autor (2021).

Figura 46 - Vista explodida equipamento de manipulação e montagem.



Fonte: O Autor (2021).

Já o Quadro 12 e a Figura 47 tratam dos componentes da unidade de geração hidráulica do equipamento de montagem.

Quadro 12 - Componentes da unidade de geração de energia hidráulica.

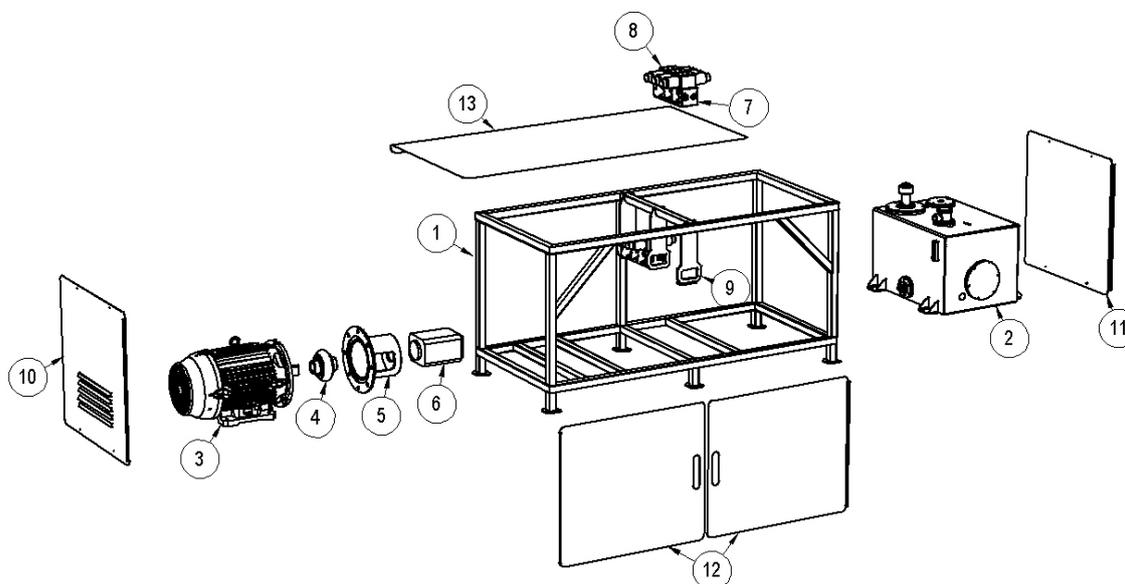
Item	Descrição	Referência	Quantidade
1	Estrutura Unidade Hidráulica	22919	1
2	Tanque Unidade Hidráulica	22920	1

Continuação Quadro 12 -Componentes de unidade de geração de energia hidráulica.

3	Motor Elétrico 30c 4 polos 440 - 60Hz 1800rpm	22921	1
4	Acoplamento Gummi Centro Elástico A-50	ed1148	1
5	Acoplamento Capa Seca	22922	1
6	Bomba Hidráulica	22930	1
7	Bloco Manifold 3 válvulas TN10 com Alívio	22923	2
8	Válvula acionamento solenoide TN10	22924	5
9	Chapa Superior Suporte Bloco	22925	3
10	Lateral da Unidade Hidráulica com Ventilação	22926	1
11	Lateral da Unidade Hidráulica	22927	1
12	Porta da Unidade Hidráulica	22928	2
13	Tampa Superior	22929	1

Fonte: O Autor (2021).

Figura 47 - Vista explodida unidade de geração de energia hidráulica.



Fonte: O Autor (2021).

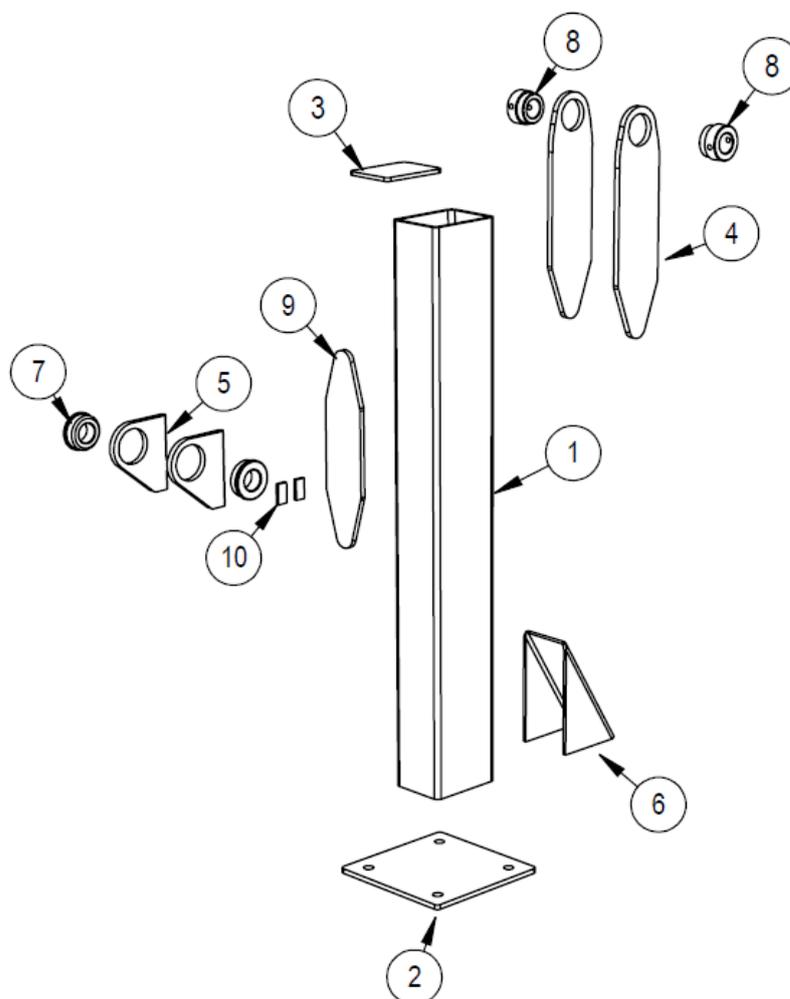
Na sequência da apresentação desta fase IV foi evitado apresentação figuras com as medidas construtivas, já que o equipamento está sob solicitação de patente e necessário certo sigilo, mas foram desenvolvidas e utilizadas na produção do equipamento.

#### 4.3.1 Coluna do equipamento de montagem de implementos florestais

A coluna do equipamento de montagem como ficou estabelecido na seção 4.2.8 foi projetada em chapas de aço ASTM A-572 grau 50 com olhais em aço SAE 1045. Soldada por processo GMAW tipo MAG, com arame ERS70S-6 de 1,2 mm utilizando gás de proteção

Dióxido de Carbono em Argônio 20%, pré-aquecendo o SAE 1045 a aproximadamente 250 °C. No Quadro 13 e na Figura 48 a seguir é possível identificar os detalhes construtivos.

Figura 48 - Vista explodida braço manipulador de implementos florestais.



Fonte: O Autor (2021).

Quadro 13 - Componentes da coluna.

Item	Descrição	Referência	Quantidade
1	Tubo Coluna Principal #3/8"X150X200X1450	22863	1
2	Sapata Coluna #12,7	19276	1
3	Tampa Coluna #3/8"X135X185	19284	1
4	Chapa com olhal da coluna #5/8"	22864	2
5	Orelha Coluna equipamento de montagem implemento Florestais	22865	2
6	Reforço da Coluna equipamento de montagem imp. Florestais #5/16"	19272	1
7	Olhal GJ580 Ø54XØ95X34	22859	2
8	Olhal com Trava Ø50XØ88,9X55	19316	2
9	Reforço da Coluna #1/2"	19277	1
10	Barra Chata encosto pino com rebaixo ¼"X1"X50	22860	2

Fonte: O Autor (2021).

### 4.3.2 Braço manipulador de implementos florestais

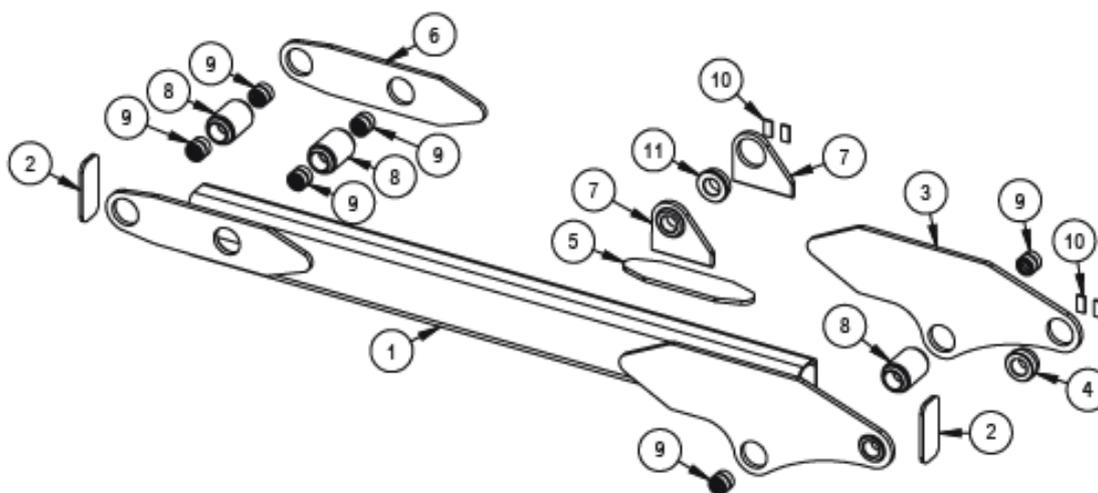
O braço manipulador do equipamento de montagem tem a mesmo tipo de construção da coluna, ou seja, também foi projetada em chapas de aço ASTM A-572 grau 50, olhais de SAE 104 e soldada por processo GMAW tipo MAG, com arame ERS70S-6 de 1,2 mm utilizando gás de proteção Dióxido de Carbono em Argônio 20%. É necessário pré-aquecer o SAE 1045 a aproximadamente 250 °C. No Quadro 14 e na Figura 49 a seguir é possível identificar os detalhes construtivos.

Quadro 14 - Componentes do braço manipulador de implementos florestais.

Item	Descrição	Referência	Quantidade
1	Viga braço manipulador	19292	1
2	Tampa viga braço manipulador	19300	2
3	Chapa de Articulação Viga	19293	2
4	Olhal da Viga Sem Trava	19342	2
5	Reforço da viga braço manipulador	19292	1
6	Chapa de Articulação Viga e Suporte	22866	2
7	Orelha Coluna equipamento de montagem imp. Florestais	22865	2
8	Olhal Passante Viga	19322	3
9	Bucha de aço Ø45xØ55x45	22868	6
10	Barra Chata Encosto Pino com Rebaixo 1/4"X1"X50	22860	2
11	Olhal 6 Peças GJ580	22867	2

Fonte: O Autor (2021).

Figura 49 - Vista explodida braço manipulador de implementos florestais.



Fonte: O Autor (2021).

### 4.3.3 Acoplamento universal

O acoplamento universal tem a mesmo tipo de construção da coluna e do braço de manipulação, ou seja, também foi projetada em chapas de aço ASTM A-572 grau 50, olhais de SAE 104 e soldada por processo GMAW tipo MAG, com arame ERS70S-6 de 1,2 mm utilizando gás de proteção Dióxido de Carbono em Argônio 20%. É necessário pré-aquecer o SAE 1045 a aproximadamente 250 °C.

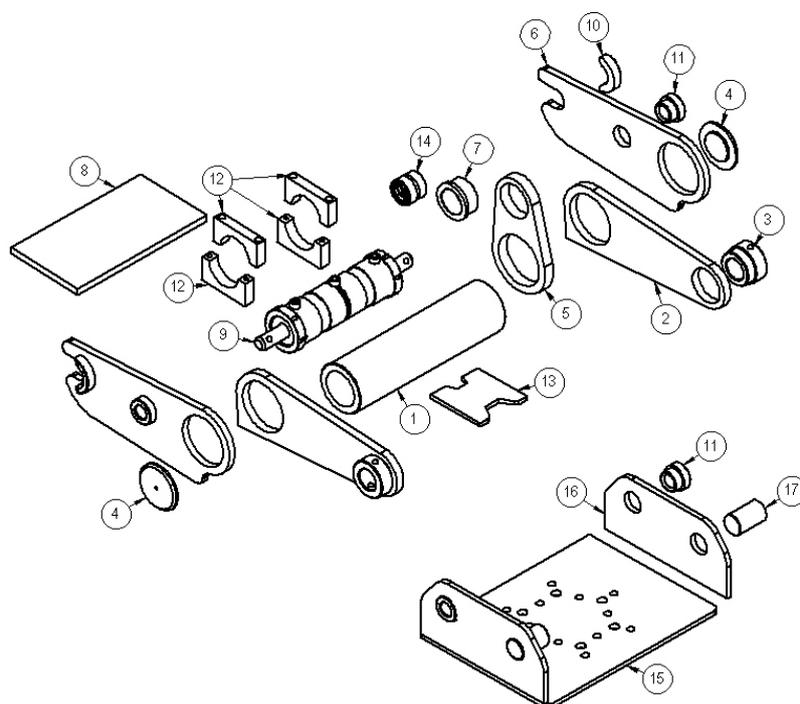
Foram escolhidos pinos e buchas em aço SAE 1045, já aplicados em equipamentos florestais J de Souza, sendo que os pinos e buchas são cortados em serra fitas de alimentação automática e usinados em torno CNC. Os pinos passam por têmpera por indução e as buchas por carbo-nitretação. No Quadro 15 e na Figura 50, a seguir, é possível identificar os detalhes construtivos e componentes do sistema de acoplamento universal.

Quadro 15 - Componentes acoplamento universal.

Item	Descrição	Referência	Quantidade
1	Tubo de Articulação Viga Ø85XØ120X440	19456	1
2	Chapa de Articulação Tubo e Viga #3/4"	19302	2
3	Olhal com Trava Ø50XØ88,9X50	19316	2
4	Tampa do Tubo GJ580 Ø110x15	360	2
5	Chapa de Articulação Tubo e Cilindro #1"	19303	1
6	Chapa de Articulação e Suporte #3/4"	19304	2
7	Olhal Central Articulação Com Bucha Ø60XØ83X42	19317	1
8	Chapa Fixação Cilindro Engate Rápido #5/8"	19306	1
9	Cilindro Engate Rápido CAT924 H	js1838	1
10	Meia Lua Engate Rápido #22mm	19323	2
11	Olhal Eng. Rápido Ø32XØ60X40	19314	4
12	Reforço Conjunto Articulação #3/8"	19345	4
13	#25,4 -Base Inferior Mancal Cilindro ERHJ	7520	1
14	Bucha GJ800	js0012	1
15	Base Fixação Universal #1/2"	22861	1
16	Chapa Fixação do Suporte #1/2"	22862	2
17	Pino Fixo do Engate Rápido Ø50x80	19315	2

Fonte: O Autor (2021).

Figura 50 - Acoplamento universal em vista explodida.



Fonte: O Autor (2021).

#### 4.3.4 Cilindro hidráulico de elevação

No caso do cilindro destinado a elevar os implementos florestais em montagem foi possível aplicar um cilindro de linha de fabricação, exatamente igual ao das garras J de Souza modelos GJ 580r, GJ 580s, GJ 800s e GJ 800r. Os cilindros passam por uma série de operações de usinagem, primeiro corte em serra da camisa, da haste cromada, cabeça do cilindro, olhal da haste, guia usinado, embolo e tomadas de pressão. A operação subsequente é a usinagem em torno CNC dos componentes citados acima, seguida de usinagem em centro de usinagem CNC. A união soldada entre a camisa e a cabeça, e entre a haste e olhal é realizada em robô de soldagem, a soldagem da tomada é realizada por processo convencional. O cilindro é montado em bancada de serviços hidráulicos com vedações comerciais da marca Parker e por fim passa por um teste hidráulico.

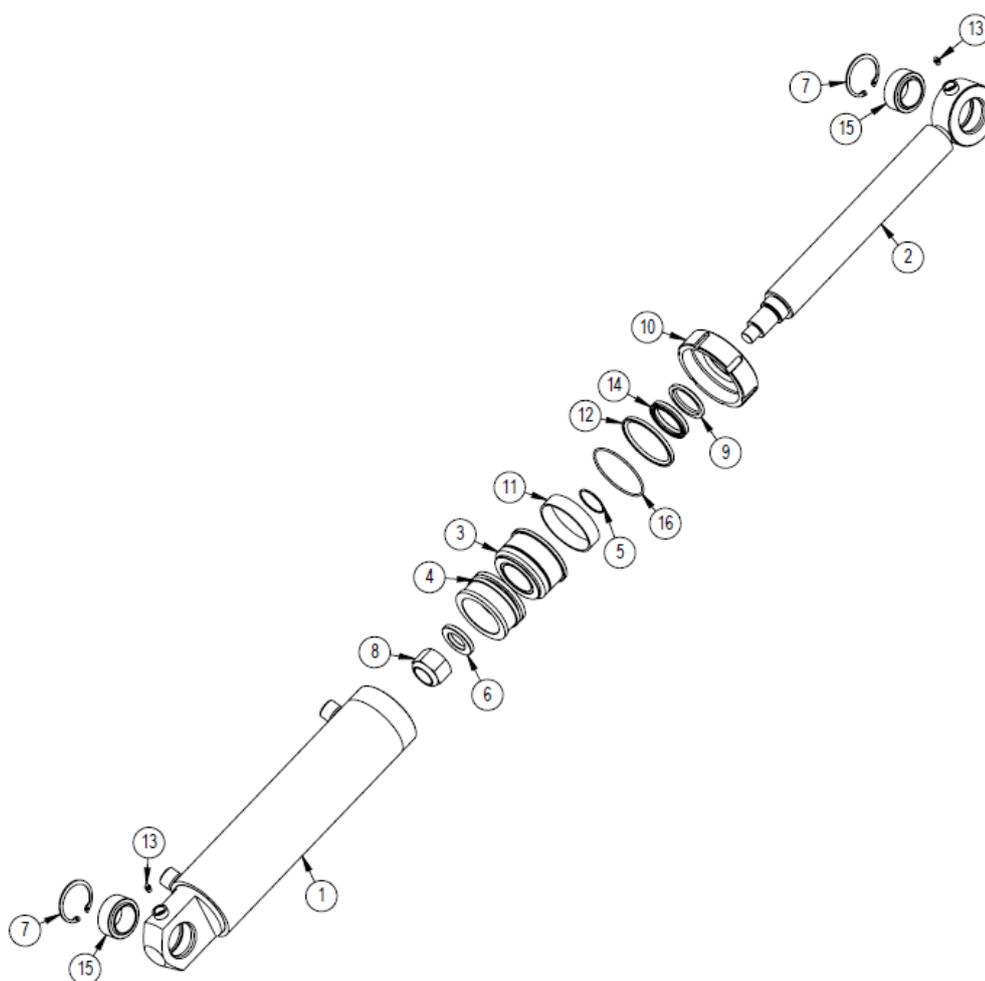
O Quadro 16 apresenta os componentes do cilindro responsável pela elevação dos implementos florestais em montagem, a Figura 51 mostra a vista explodida do cilindro.

Quadro 16 - Componentes do cilindro de elevação de implementos florestais.

Item	Descrição	Referência	Quantidade
1	Montagem Cilindro GJ580	js0029-C	1
2	Conjunto Haste e Olhal Cil.GJ580	js0029-H	1
3	Conjunto Guia do Cilindro GJ580	js0029-G	1
4	Embolo GJ580	js0019-E3	1
5	Anel O-ring 2-136	eh0097	1
6	Arruela Cilindro GJ580	js0019-AC	1
7	Anel Furo Ø75	ed0010	2
8	Porca Sextavada 1.1/2" UNF - auto-travante	ed0001	1
9	Raspador D-2500	eh0010	1
10	Porca Camisa Cilindro 4,5pol	js0029-PO	1
11	Fita Guia - 4J3745	eh0031	1
12	Gaxeta 9X7269	eh0030	1
13	Graxeira 5/16"	ed0008	2
14	Gaxeta 3120-2500-500 B	eh0081	1
15	Rotula GE50DO 2RS (Marca Elges - INA)	ed0971	2
16	Anel O-ring 2-244	eh0009	1

Fonte: O Autor (2021).

Figura 51 - Cilindro hidráulico de elevação de implementos florestais.



Fonte: O Autor (2021).



Quadro 17 - Componentes do cilindro de inclinação.

Item	Descrição	Referência	Quantidade
1	Camisa cilindro de inclinação	js0039-C	1
2	Guia usinado GJ1000	5241	1
3	Embolo GJ1000	js0039-E2	1
4	Haste do cilindro	js0037-H	1
5	Bucha Bronze do Guia GJ1000	5240	1
6	Gaxeta	eh0046	1
7	Raspador	eh0035	1
8	Gaxeta	eh0039	2
9	Guia W2-4000-500	eh0038	1
10	Porca camisa cilindro 4"	js0039-PO	1
11	Rotula GE50DO 2RS (Marca Elges - INA)	ed0971	2
12	Graxeira 5/16"	ed0008	1

Fonte: O Autor (2021).

#### 4.3.6 Sistema de articulação

O sistema de articulação foi projetado em chapas de aço ASTM A-572 grau 50, com olhais em aço SAE 1045, unidos por processo GMAW tipo MAG, com arame ERS70S-6 de 1,2 mm utilizando gás de proteção Dióxido de Carbono em Argônio 20%.

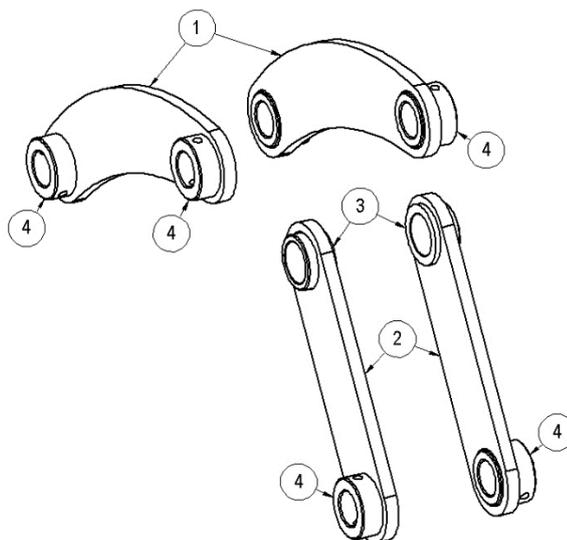
O Quadro 18 descreve os componentes do sistema e a Figura 53 apresenta a forma dos componentes para construção para do sistema de articulação.

Quadro 18 - Componentes do sistema de articulação.

Item	Descrição	Referência	Quantidade
1	Chapa Biela #3/4" (Superior)	19291	2
2	Chapa Biela #3/4" (Inferior)	19290	2
3	Olhal Central Articulação com Bucha Ø60XØ83X42	19317	2
4	Olhal Com Trava Ø50XØ88,9X50	19316	6

Fonte: O Autor (2021).

Figura 53 - Sistema de articulação.



Fonte: O Autor (2021).

#### 4.3.7 Estrutura da unidade hidráulica

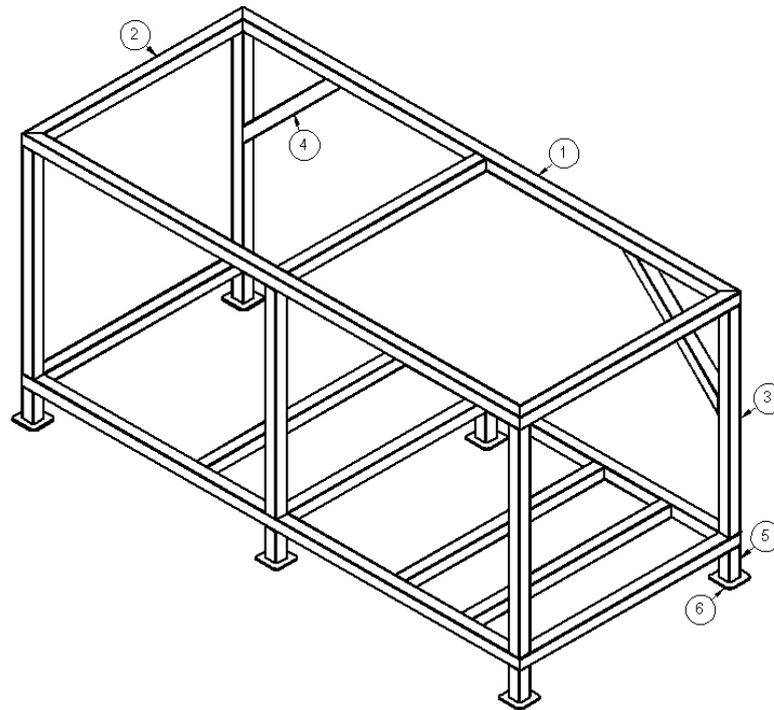
Foi projetada em aço SAE 1020 tubular, desta forma ser soldado por processo GMAW tipo MAG, com arame ERS70S-6 de 1,2 mm, utilizando gás de proteção Dióxido de Carbono em Argônio 20%. O Quadro 19 apresenta os componentes da estrutura e a Figura 54 apresenta o desenho desta estrutura.

Quadro 19 - Componentes da estrutura da unidade hidráulica.

Item	Descrição	Referência	Quantidade
1	Tubo 40x40x1800	22953	4
2	Tubo 40x40x800	22954	4
3	Tubo 40x40x700	22955	10
4	Tubo 40x40x500	22956	2
5	Tubo 40x40x100	22957	6
6	Sapata 3/16"X80X80	22958	6

Fonte: O Autor (2021).

Figura 54 – Desenho da estrutura da unidade hidráulica.



Fonte: O Autor (2021).

## 5 CONCLUSÕES

Após um longo período de trabalho foi alcançado o objetivo principal de desenvolver o projeto de um equipamento para montagem de implementos florestais, fato que foi muito facilitado com a utilização do procedimento metódico de Pahl et al. (2005).

Durante o esse período o mercado, a demanda e até a estrutura física da empresa cenário mudaram bastante, o equipamento de montagem até se tornou mais necessário, mas já foi instalado na segunda planta, o que dificultou a parte de testes, já que esta unidade só deverá ser colocada completamente em funcionamento em 2022.

O projeto desenvolvido possibilita a montagem de implementos florestais, tais como garras para movimentação de toras, garras traçadoras de árvores e cabeçotes para corte mecanizado de árvores.

Até a finalização do presente estudo, poucos implementos foram montados com auxílio do equipamento desenvolvido, projetado e fabricado como fruto da pesquisa, ainda assim já foi possível verificar um avanço relevante nos danos gerados a pintura e retrabalho gerado para retocá-la. Também foram observados avanços nas questões ergonômicas e de segurança como pode ser facilmente observado nas figuras 40 e 41.

Considerando que a empresa-cenário montasse somente garras no modo tradicional a capacidade máxima teórica seria de 81 equipamentos montados por mês com dois mecânicos montadores trabalhando 220 horas mensais cada. Já com o equipamento de montagem que ainda não conta com os mecânicos montadores treinados no uso do implemento seria teoricamente possível montar até 110 garras, provavelmente com um mecânico. É importante observar que os mecânicos montadores podem realizar outras atividades, como montar cilindros e outros tipos de implementos florestais, e desta forma dificilmente os números citados seriam atingidos.

Como trabalhos futuros pode-se criar um dispositivo de montagem para implementos florestais a serem fixos ao sistema de levante hidráulico de tratores agrícolas. Já para a montagem de garras e cabeçotes multifuncionais é ainda possível avançar em métodos de instalação dos pinos, sem batidas com marreta, e desta forma talvez reduzir ainda mais os retrabalhos com pintura. Por fim não foi possível fazer um dimensionamento estrutural adequado da coluna e do braço do dispositivo, sendo usado a experiência do projetista neste ponto, esse poderia ser estudado em um trabalho futuro.

## REFERÊNCIAS

- ACR - ASSOCIAÇÃO CATARINENSE DE EMPRESAS FLORESTAIS. **Anuário Estatístico de Base Florestal para o Estado de Santa Catarina 2019**. 2019. Disponível em: [http://www.acr.org.br/uploads/biblioteca/Anuario\\_ACR\\_2019\\_atualizado.pdf](http://www.acr.org.br/uploads/biblioteca/Anuario_ACR_2019_atualizado.pdf)
- ALMENDARIZ-PUENTE, M. H.; VACA-GUADALUPE, R. P.; MEDINA-GUAMAN, E. P. Estudio de los efectos de la temperatura de precalentamiento sobre la microestructura y propiedades mecánicas de aceros ASTM A36 y A572 GR. 50. **Polo del Conocimiento**, v. 6, n.1, p. 1313-1337, 2021.
- ARAÚJO JÚNIOR, A. P.; CHAGAS, C. V; FERNANDES, R. G. Uma rápida análise sobre Automação Industrial. **Redes para Automação Industrial**, n.1, 2003.
- BARBIERI, A. C.; SILVEIRA, M. H. F.; SILVA, A. S. B. Custo Brasil e investimento direto estrangeiro: uma análise de suas relações. *In*: Congresso Nacional de Excelência em Gestão, 10, 2014, Rio de Janeiro, Brasil. **Anais [...]**. Rio de Janeiro, Brasil, 2014.
- BLACK, J. T.; trad. KANNENBERG, G. **O Projeto da fábrica com futuro**. Porto Alegre: Artes Médicas, 1998.
- BORGES, F. M.; RODRIGUES, C. L. P. Pontos passíveis de melhoria no método de projeto de produto de Pahl e Beitz. **Gestão & Produção**, v.17, n.2, p.271-281, 2010.
- BRANCO, C. M.; FERNANDES, A. A.; CASTRO, P. M. S. T. **Fadiga de estrutura soldadas**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1999.
- BUDYNAS, R. G.; NISBETT, J. K. **Elementos de Máquinas de Shigley**. 10 ed. Porto Alegre: AMGH, 2016.
- CAIRES, L. M.; MORO, M. F.; FACCO, G. Problema de clusterização automática para a redução de tempos de setup em sistemas job-shop de Produção. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 37., 2017, Joinville-SC. **Anais [...]**. Joinville-SC, 2017.
- CAPELLARI, A. S; WALBER, M; MEIRA JR, A. D. Projeto de estruturas para barras de pulverização agrícola de grande porte. CONIGTI - INTERNACIONAL CONGRESS OF MANAGEMENT, TECHNOLOGY AND INNOVATION, 4., 2018, Erechim-RS. **Anais [...]**. Erechim-RS, 2018.
- CARRERA, I. C. E.; CEPEDA, W. E. P.; CARVAJAL, M. A.; ROCHA, J. C. **Diseño, construcción e implementación de una prensa hidráulica de 25 toneladas, con accesorio para remoción de pines de cadena de tren de rodaje**. 2014. Tese (Doutorado em Ingeniería Automotriz) - Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Latacunga, Ecuador, 2014.
- CARVALHO, R. M. M.; SOARES, T. S.; VALVERDE, S. R. Caracterização do setor florestal: uma abordagem comparativa com outros setores da economia. **Ciência Florestal**, v.15, n.1., p.105-118, 2005.

CECHIN, N. F. **Análise da eficiência e do desempenho operacional das máquinas e equipamentos no corte raso de povoamentos florestais na região do Planalto Norte de Santa Catarina**. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, 2000.

DANTAS, L. C.; LUNA, M. S; GUIMARAES, L. E. C. Evolução recente da inovação nas pequenas unidades produtivas da indústria metal mecânica de Campina Grande-PB. *In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO*, 35., 2015, Fortaleza-CE. **Anais [...]**. Fortaleza-CE, 2015.

ESTE, P.; LAURA, A.; SAÉNZ, P. Evaluación de la resistencia a fatiga y límite de de fatiga de aceros de medio y bajo carbono. **Revista Ingeniería UC**, v.11, n.1, p.69-75, 2004.

EXPOFOREST. Lista de expositores. 2018. Disponível em: <https://expoforest.com.br/pt/expositores/lista-de-expositores/>

FAVARIN, J. V. R; ANDERSON, V. L; PINTO, M. M. O. Inovação na indústria metalmeccânica brasileira: um estudo de caso múltiplo sob a ótica da teoria econômica evolucionária e da visão baseada em recursos. *In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO*, 30., 2010, São Carlos-SP. **Anais [...]**. São Carlos-SP, 2010.

FIALHO, A. B. **Automação hidráulica: projetos, dimensionamento e análise de circuitos**. São Paulo: Érica, 2011.

FIEDLER, N. C.; ROCHA, E. B.; LOPES, E. S. Análise da produtividade de um sistema de colheita de árvores inteiras no norte do estado de Goiás. **Floresta**, v.38, n.4, p.577-586, 2008.

FRAGA, R. A.; SILVEIRA, J. H. D.; JUNIOR, R. T.V.; REIS, E.G.; ALVES, R. P.; PEREIRA, M. M. Desenvolvimento de aços resistente a abrasão através da tecnologia de têmpera direta na laminação de chapas da Gerdau Ouro Branco. *In: SEMINÁRIO DE LAMINAÇÃO E CONFORMAÇÃO*, 54., 2017. São Paulo-SP. **Anais [...]**. São Paulo-SP, 2017. p 177-186.

GERALDI, G. M., MENEZES, N. R.; DANTAS, J. H. Estudo de caso para implantação de painéis elétricos totalmente testados (TTA/PTTA) no setor elétrico industrial e empresarial. **Revista Uningá Review**, v.32, n.1, p.31-42, 2017.

GONÇALVES FILHO, E. V.; CHRISTIANO, A. C. Implantando células de manufatura em uma empresa com fabricação sob encomenda. **Gestão & Produção**, v.1, p.49-58, 1994.

GONÇALVES, T. C; OLIVEIRA, R. P. Projeto de célula de manufatura. *In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO*, 30., 2010, São Carlos-SP. **Anais [...]**. São Carlos-SP, 2010.

GRASEL, D. Padrões, estratégias de competição e competitividade. **Revista de Estudos Sociais**, v.3, n.6, p.59-74, 2001.

GUILLÉN, J. T.; CABALLERO, M. A.; OLVERA, M. A.; MORENO, A. D. V.; GONZÁLEZ, M. G. L. Evaluación de la integridad estructural del Acero SAE/AISI 1045 soldado por arco manual con electrodo revestido (SMAW). *In: CONGRESSO INTERNACIONAL ANUAL DE*

LA SOMIN, 23, 2017. Cuernavaca, Morelos, México. **Anais** [...]. Cuernavaca, Morelos, México, 2017.

HERNÁNDEZ, H.; DELGADO, H. Estudio Metalúrgico de causas de falla del puente pescadero. **Ingeniería e Investigación**, n.39, p.12-28, 1998.

IBA – INDUSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório Anual**. São Paulo, Brasil, 2020.

IPEKOGLU, G.; KÜÇÜKÖMEROGLU, T.; AKTARER; S. M.; SEKBAN, D. M.; ÇAM, G. Investigation of microstructure and mechanical properties of friction stir welded dissimilar St37/St52 joints. **Material Research Express**, v. 6, n. 4, p. 046537, 2019.

KOENIG, F. **Concepção de veículo elétrico portátil para transporte individual urbano**. 2019. Dissertação (Mestrado Profissional em Projetos e Processos de Fabricação) – Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, Brasil, 2019.

LAVARELLO, P. J; GOLDSTEIN, E; Dinámicas heterogéneas em la indústria de maquinaria agrícola Argentina. **Revista Problemas del Desarrollo**, v. 42, n. 166, p. 85-109, 2011.

LEITE, M. C.; SANTOS, M. R.; ZAQUEU, R. A.; JUNIOR, R. S. M.; ROCHINSKI, V. A.; SOUZA, S. L.; SCARPIN, L. M.; SANTOS, P. S. B. Ensaio de tração mecânica e análise metalográfica do aço SAE 1045. **Revista Engenharia em Ação UniToledo**, v.2, n.1, p.83-93, 2017.

LEVANDOSKI, J. M.; FRIPP, W. H.; WALBER, M. Projeto conceitual de uma máquina de colher cana de açúcar. *In: INTERNACIONAL CONGRESS OF MANAGEMENT, TECHNOLOGY AND INNOVATION*, 1., 2015, Erechim-RS. **Anais** [...]. Erechim-RS, 2015.

LIMA, A. J. B.; SOUSA, J. S. S. DA SILVA. Desenvolvimento de uma célula de manufatura de soldagem Robotizada para a indústria de Autopeças. *In: COBEF – CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO*, 2007, Curitiba, Brasil. **Anais** [...]. Curitiba, Brasil, 2007.

LIMA, O. F.; LEITE, J. P.; BARBOSA, R. F.; PEREIRA, D. A. M.; SOUSA, F. K. A. Implantação de layout celular na montagem de cadernos em uma indústria do setor gráfico. *In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO*, 31., 2011, Belo Horizonte, Brasil. **Anais** [...]. Belo Horizonte, Brasil, 2011.

LINSINGEN, I; DE NEGRI, V. J. Chapter 1 – Fundamentals of Hydraulic and Components. *In: Handbook of Hydraulic Fluid Technology*, Second Edition. Boca Raton, Florida: CRC Press – Taylor & Francis Group, p1-52.

LÓPEZ, F. M.; VIDAURRI, L. E. R.; DÁVILA, J. L. A.; GARCÍA, H. M. H.; RODRÍGUEZ, A. H.; MONDRAGON, J. J. R. Efecto de la profundidad sobre la soldabilidad de aceros ferríticos en ambientes simulados unidos por soldadura húmeda. **Soldagem & Inspeção**, v.21, n.2, p.126-136, 2016.

MACHADO, C. C. **Colheita Florestal**. 3 ed. Viçosa: Editora UFV, 2014.

MALINOVSKI. Catálogo Expoforest - Feira Florestal Brasileira, 2018.

- MELCONIAN, S. **Elementos de Máquinas**. 10 ed. São Paulo: Érica, 2012.
- MENEGUZZI, R; SETTI, A; SIMIONATO, M; WALBER, M; MEIRA JR, A. D. Desenvolvimento do conceito de um sistema de engate rápido para trator-implemento. CONIGTI - INTERNACIONAL CONGRESS OF MANAGEMENT, TECHNOLOGY AND INNOVATION, 4., 2018, Erechim-RS. **Anais [...]**. Erechim-RS, 2018.
- MORAES, L. H; SANTORO, M. C. Medida de Eficiência em Linhas de Produção. *In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO*, 26., 2006, Fortaleza-CE. **Anais [...]**. Fortaleza-CE, 2006.
- MOREIRA, J. M. M. A.; SIMIONI, F, J; OLIVEIRA, E. B. Importância e desempenho das florestas plantadas no contexto do agronegócio brasileiro. **Floresta**, v. 47, n. 1, p. 85-94, 2017.
- NASCIMENTO, G. **Comandos Elétricos: Teoria e Atividades**. 2 ed. São Paulo: Érica, 2018.
- NEUMANN, C.; SCALICE, R. K. **Projeto de Fábrica e Layout**. 1 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.
- OBBERDÖRFER, M. **Projeto de um sistema para reabilitação de membros inferiores**. 2020. Dissertação (Mestrado em Projetos e Processos de Fabricação) UPF – Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS, Brasil, 2020.
- OLIVEIRA, R. P.; STEFENON, S. F.; BRANCO, N. W.; OLIVEIRA, R.; ROHLOFF, R. C. Lean Manufacturing em associação à automação industrial: estudo de caso aplicado à indústria moveleira. **Revista Espacios**, v.38, n.17, p. 1-16, 2017.
- PAHL, G.; BEITZ, W.; FELDHUSEN, J.; GROTE, K.H. **Projeto na Engenharia**. São Paulo: Blucher, 2005.
- QUADROS, R.; FURTADO, A.; BERNARDES, R. C.; FRANCO, E. Padrões de inovação tecnológica na indústria Paulista. **São Paulo em Perspectiva**, v. 13, n. 1-2, p. 53-92, 1999.
- RINCÓN, M. I. M.; MARTÍN, C. R.; CHAPARRO, W. A. A. Determinación de las causas de falla en la ZAC de un Acero ASTM A36 soldado por proceso SMAW. **Revista INGE CUC**, v.9, n.2, p.75-82, 2013.
- ROBLEDO, D. M.; CÁRDENAS, A. O. Evaluación de los parámetros de temple y revenido para el acero AISI/SAE 1045 a escala industrial. **Scientia et Technica**, v.3, n.49, p.25-29, 2011.
- SANTIN, M. F. C. L.; CHIARINI, T. Mudança tecnológica: retrato da inovação na indústria metal-mecânica do Rio Grande do Sul, em 2005-08. **Indicadores Econômicos da FEE**, v.38, n.3, p. 103-116, 2011.
- SANTOS, A. S.; SANTOS, C. D. C.; SABINO, C. H. B.; OLIVEIRA, K. B. C. Dimensionamento de uma associação de bombas hidráulicas com uso de Arduino como parâmetro de automação. **Revista Engenharia de Interesse Social**, v.5, n.6, p.129-149, 2020.

SILVEIRA, F.; ZUCHETTO, A.; RUPPENTHAL, J. E.; MACHADO, F. M. Tratamento térmico de têmpera em aço ABNT 8640: análise das propriedades mecânicas. **Holos**, v.34, n.2, p. 49-59, 2018.

SIMIONATO, M. M.; SETTI, A.; MENEGUZZI, R.; WALBER, M.; JUNIOR, A. D. M. Desenvolvimento do conceito de um equipamento para realização de ensaios de impacto em coluna vertebral. *In*: CONIGTI - INTERNACIONAL CONGRESS OF MANAGEMENT, TECHNOLOGY AND INNOVATION, 4., 2018, Erechim-RS. **Anais [...]**. Erechim-RS, 2018.

SINGH, G. Agricultural machinery industry in India (manufacturing, marketing and mechanization promotion). **Status of Farm Mechanization in India**, p.154-174, 2006.

TATAGIBA, L. C. S.; GONÇALVES, R. B.; PARANHOS, R. Tendências no desenvolvimento de gases de proteção utilizados na soldagem MIG/MAG. **Soldagem & Inspeção**, v.17, n.3, p.218-228, 2012.

TASCH, A. L. Dinâmica tecnológica, padrão inovativo e de concorrência da Indústria Gaúcha de máquinas e implementos agrícolas. *In*: ENCONTRO REGIONAL DE ECONOMIA ANPEC-SUL, 6., 2008.

TECCHIO, M.; ANSCHAU, C. T.; SCHNEIDER, A. Processo produtivo de máquinas frigoríficas. **Anais da Engenharia de Produção**, v.2, n.1, p.137-151, 2018.

TEIXEIRA, A. F. S.; VISOTO, N. A. R.; PAULISTA, P. H. Automação Industrial: Seus desafios e perspectivas. *In*: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA FEPI, 7., 2016, Itajubá, MG. **Anais [...]**. Itajubá, MG, 2016.

TRINDADE, A. V.; DANIELI, R. C.; WALBER, M.; JUNIOR, A. D. M. Aplicação de uma Metodologia de desenvolvimento de produto na elaboração de um dispositivo para movimentação e fixação de um galpão metálico tipo industrial. *In*: INTERNACIONAL CONGRESS OF MANAGEMENT, TECHNOLOGY AND INNOVATION, 2., 2016, Erechim-RS. **Anais [...]**. Erechim-RS, 2016.

VELOSO, F.; MATOS, S.; FERREIRA, P. C.; COELHO, B. O Brasil em comparações internacionais de produtividade: uma análise setorial. 2017. Disponível em: [https://portal.fgv.br/sites/portal.fgv.br/files/produtividade\\_setorial\\_final.pdf](https://portal.fgv.br/sites/portal.fgv.br/files/produtividade_setorial_final.pdf)

YAMADA, V. Y.; MARTINS, L. M. Indústria 4.0: Um comparativo da indústria Brasileira perante o mundo. **Revista Terra & Cultura: Cadernos de Ensino e Pesquisa**, v.34, n. esp., p.95-109, 2018.

YOSHIDA, A. **Mecânica Geral**. São Paulo: L. Oren, 1979.

ZIDONG, Y. Strategical Analysis of Accelerating the development and innovation of China Agricultural Equipment Industry: A case of Shan Dong province. *In*: WORLD CONGRESS OF THE INTERNATIONAL COMMISSION OF AGRICULTURAL AND BIOSYSTEMS ENGINEERING, 17., 2010, Québec City, Canada. **Annals [...]**. Québec City, Canada. 2010.



# UPF

UNIVERSIDADE  
DE PASSO FUNDO

UPF Campus I - BR 285, São José  
Passo Fundo - RS - CEP: 99052-900  
(54) 3316 7000 - [www.upf.br](http://www.upf.br)