

ASSOCIAÇÃO EDUCATIVA EVANGÉLICA
FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA – FACEG
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

RANIELL MAZZILY IZIDORO

PROJETO DE UMA GRUA HIDRÁULICA MANUAL

GOIANÉSIA/GO

2021

FACEG	<p>PROJETO DE UMA GRUA HIDRÁULICA MANUAL RANIELL MAZZILY IZIDORO</p>	2021
-------	--	------

RANIELL MAZZILY IZIDORO

PROJETO DE UMA GRUA HIDRÁULICA MANUAL

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao Departamento de Engenharia Mecânica, da Faculdade Evangélica de Goianésia - FACEG, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

GOIANÉSIA/GO

2021

FICHA CATALOGRÁFICA

198p

Izidoro, Raniell Mazzily.

Projeto de uma grua hidráulica manual / Raniell Mazzily Izidoro – Goianésia: Faculdade Evangélica de Goianésia, 2021 – Faceg, 2021.

60 p.; il.

Orientador: Prof. Dr Cleber Caetano Thomazi.

Monografia de Graduação – Faculdade Evangélica de Goianésia: FACEG, 2021.

1. Máquina. 2. Elevação. 3. Transporte. 4. Projeto.

I. Izidoro, Raniell Mazzily. II. Projeto de uma grua hidráulica manual

CDU 621

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

IZIDORO, R. M. **PROJETO DE UMA GRUA HIDRÁULICA MANUAL.** Orientação de Cleber Caetano Thomazi; Goianésia: Faculdade Evangélica de Goianésia, 2021, 60p. Monografia de Graduação.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: RANIELL MAZZILY IZIDORO

GRAU: BACHAREL

ANO: 2021

É concedida à Faculdade Evangélica de Goianésia permissão para reproduzir cópias desta Monografia de Graduação para única e exclusivamente propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva para si os outros direitos autorais, de publicação. Nenhuma parte desta Monografia pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor. Citações são estimuladas, desde que citada à fonte.

Raniell Mazzily Izidoro

Nome: RANIELL MAZZILY IZIDORO

CPF: 036714561-83

Endereço: Rua 20, N 530, Setor Negrinho Carrilho

Email: raniellmi@gmail.com

RANIELL MAZZILY IZIDORO

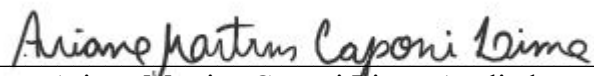
PROJETO DE UMA GRUA HIDRÁULICA MANUAL

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao Departamento de Engenharia Mecânica, da Faculdade Evangélica de Goianésia - FACEG, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

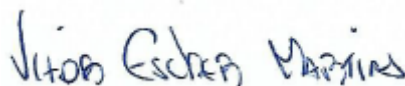
Goianésia, _06_ de _Julho_ de 2021.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Cleber Caetano Thomazi - Orientador
Faculdade Evangélica de Goianésia – FACEG



Ariane Martins Caponi Lima, Avaliador
Faculdade Evangélica de Goianésia – FACEG



Vitor Escher Martins, Avaliador
Faculdade Evangélica de Goianésia – FACEG

“Ama-se mais o que se conquista com esforço”.

Benjamin Disraeli

DEDICATÓRIA

Dedico primeiramente a Deus, pois sua palavra serviu de sustentação para superar cada obstáculo. À minha filha Ísis Mazzily Izidoro, que veio em tempos difíceis para acalantar os ânimos, trazendo alegria e motivação para seguir adiante. Ao meu amado tio José Carlos Pereira, que sempre ensinou equidade, perseverança e luta enquanto irradiava vida, que Deus o tenha recebido de braços abertos.

AGRADECIMENTOS

À minha família, em especial à minha avó Valmira Maria Pereira por ser exemplo de simplicidade e animosidade apesar de dias difíceis.

Aos meus pais por me concederem apoio em toda a minha trajetória, ensinando-me sempre com destreza e dedicação valores fundamentais que serviram de base para esta conquista.

À minha esposa Thaís Lorena de Oliveira Ribeiro que observou e me apoiou a me abster de presença para dedicação aos estudos, sendo sempre compreensiva e dedicada ao nosso casamento.

Ao meu professor orientador Cléber Caetano Thomazi pelo apoio, por me fazer enxergar que tudo que fazemos é para proporcionar o melhor às pessoas, obtendo como base a lição mais importante do curso.

A todos os professores que contribuíram com dedicação e paciência, ensinando-me um ofício, bem como valores éticos de um profissional de engenharia.

Aos meus companheiros de turma: Tércio Domingos Alves, Fernando Cardoso de Oliveira e Roberto Cesar; a contribuição de vocês em noites de estudo fora de extrema importância para caminhar até aqui.

Aos meus companheiros de trabalho na empresa Jalles Machado, com toda certeza o aprendizado que obtive com todos contribuiu e contribui muito para meu crescimento pessoal e profissional.

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo desenvolver um projeto de uma máquina para içar e transportar equipamentos para uma empresa do setor sucroalcooleiro na região do Vale do São Patrício no estado de Goiás. O projeto inicia-se com uma entrevista com a parte interessada, partindo para um estudo da literatura e pesquisa de mercado para verificar equipamentos já existentes e utilizar como base para o projeto. Após a identificação da necessidade e definição do problema, partiu-se para o desenvolvimento do projeto, atendendo para os requisitos. A elaboração do projeto mecânico se deu com a utilização de técnicas e normas vigentes e por meio de plataformas CAD/CAE, realizando simulações e diminuindo chances de possíveis erros de concepção, muito embora a verificação de alguns elementos se deu por cálculos executados manualmente. A máquina tipo guincho tem como finalidade proporcionar o içamento de equipamentos elevando-os até sua base, reduzindo esforços físicos demasiados das equipes de manutenção e operação que a utilizarem.

Palavras-chave: Máquina de Elevação e Transporte. Projeto.

ABSTRACT

This work aims to design a machine to lift and transport equipment for a company in the sugar and alcohol sector in the São Patrício Valley region in the state of Goiás. The project begins with a stakeholder interview, passing to a literature study and market research to verify existing equipment and its uses as a basis to the design. After identifying the need and defining the problem, the project was developed, meeting the requirements and limitations of such. The realization of the mechanical design considered current techniques and standards and the use of CAD/CAE platforms, performing simulations and reducing the chances of possible design errors, even though the verification of some elements was performed manually. The winch-type machine is intended to provide lifting of equipment by raising it to its base, reducing excessive physical efforts by the maintenance and operation teams that use it.

Keywords: Lifting and Transporting Machine. Design.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2-1: As fases de projeto e as diversas realimentações e iterações (BUDYNAS e NISBETT, 2016).	15
Figura 4-1: Coleta das dimensões do maior equipamento para aplicação da máquina.	19
Figura 5-1: Diagrama representando o pré-dimensionamento geométrico (Autoria própria)..	22
Figura 5-2: Diagrama com distribuição de esforços normais (F_{tool}).....	23
Figura 5-3: Diagrama com distribuição de esforços de cisalhamento (F_{tool}).....	23
Figura 5-4: Diagrama com distribuição de esforços de momento (F_{tool}).....	23
Figura 5-5: Valor de $(b/t)_{lim}$ do perfil, Extraído da tabela F.1 da NBR 8800 (ABNT, 2008)...	25
Figura 5-6: Condições de verificação de esforço cortante resistente de cálculo (ABNT NBR 8800, 2008).....	28
Figura 5-7: Elementos verificados seguindo a norma NBR 8800 (ABNT, 2008).	32
Figura 5-8: Representação do braço de elevação da máquina elemento A (Autoria própria),	32
Figura 5-9: Malha gerada para análise estática no Solidworks (Autoria própria).....	33
Figura 5-10: Resultado da simulação no braço de elevação no Solidworks (Autoria Própria).	34
Figura 5-11: Ensaio de vida fadiga realizado no solidworks (Autoria própria).	35
Figura 5-12: Especificações vide catálogo de atuadores hidráulicos Bovenau.	38
Figura 5-13: Representação ilustrativa do atuador hidráulico instalado na máquina.....	38
Figura 5-14: Apoio pinado do atuador (Autoria própria).	39
Figura 5-15: Simbologia de solda com representação do carregamento.	39
Figura 5-16: Tamanho mínimo de solda de filete (BUDYNAS e NISBETT, 2016).	40
Figura 5-17: Configurações para propriedades torcionais de soldas de filete (BUDYNAS e NISBETT, 2016).	40
Figura 5-18: Diagrama de corpo livre de uma das chapas laterais soldadas (Autoria própria).	42
Figura 5-19: Cargas e tensões permitidas para vários tamanhos de soldas de filete (BUDYNAS e NISBETT, 2016).....	44
Figura 5-20: Rodízios para utilização nos apoios R1 (Catálogo Eles+Ganter).	45
Figura 5-21: Suporte de aço para adaptação do rodízio (Autoria própria).....	46
Figura 5-22: Postagem dos apoios (furo de eixo) e carga solicitante (face plana superior)....	46
Figura 5-23: Aplicação automática da malha no solidworks.	46
Figura 5-24: Resultado da simulação de esforços no solidworks.....	47

Figura 5-25: Rodízios giratórios para cargas médio pesadas (Catálogo Eles+Ganter).	48
Figura 5-26: Disposição das manilhas na máquina (Autoria própria).....	50
Figura 6-1: Imagem renderizada em perspectiva 01 (Autoria própria).	52
Figura 6-2: Imagem renderizada 02 (Autoria própria).	53
Figura 6-3: Imagem renderizada 03 (Autoria própria).	53
Figura 6-4: Imagem renderizada 04 (Autoria própria).	54
Figura 6-5: Imagem renderizada 05 (Autoria própria).	54
Figura 6-6: Imagem renderizada 06 (Autoria própria).	54
Figura 6-7: Vista Superior da máquina (Autoria própria).	55
Figura 6-8: Vista frontal da máquina (Autoria própria).	55
Figura 6-9: Vista lateral direita da máquina (Autoria própria).....	56
Figura 6-10: Detalhe de vista seção B-B, espessura dos perfis (Autoria própria).	56
Figura 6-11: Vista explodia da máquina (Autoria própria).	57

LISTA DE SIMBOLOS

g	Aceleração da gravidade ($9,81\text{m/s}^2$);
P	Peso;
F	Força;
m	Massa;
a	Aceleração;
b	Largura do elemento;
t	Espessura;
Q	Fator de redução total;
E	Módulo de elasticidade;
$N_{t,Sd}$	Força axial de tração solicitante de cálculo;
$N_{t,Rd}$	Força axial de tração resistente de cálculo;
A_g	Área da seção bruta;
f_y	Tensão de escoamento do material;
γ_{a1}	Coefficiente de ponderação das resistências ao escoamento, flambagem e instabilidade;
V_{Rd}	Força cortante resistente de cálculo;
V_{pl}	Força cortante correspondente a plastificação da alma por cisalhamento;
λ	Representa o índice de esbeltez;
λ_p	Parâmetro de esbeltez para seções compactas;
λ_r	Parâmetro de esbeltez para seções semicompactas;
k_v	Constante para almas de seção tubular = 5;
h	Altura da parte plana das almas nas seções tubulares;
t_w	é a espessura do perfil;
M_{sd}	Momento solicitante de cálculo;
M_{rd}	Momento resistente de cálculo;
Z	Módulo de resistência plástico;
dh	Diâmetro da haste do atuador;
S	Representa o fator de segurança;
λ	Comprimento livre de flambagem;
F_{ap}	Força de avanço;
L_h	comprimento da haste;
A	Área da garganta da solda;

h	Tamanho da solda;
b	Largura da solda;
d	Altura da solda;
τ'	Tensão primária de cisalhamento;
τ''	Tensão secundária de cisalhamento;
V	Carregamento de cisalhamento.
\bar{x}	Distância do ponto médio em x ;
\bar{y}	Distância do ponto médio em y ;
r	Distância para cálculo de momento;
M	Carregamento de momento;
F	Carregamento principal;
l	Distância do carregamento principal até G .
G	Centroide do grupo de solda;
J	Segundo momento polar de área;
J_u	Segundo momento polar unitário de área;
$\tau_{m\acute{a}x}$	Tensão de cisalhamento máxima atuante no conjunto de solda;
\emptyset	Ângulo entre as tensões primárias e secundárias do lado da força aplicada.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Justificativa.....	13
1.2	Objetivo Geral	14
1.3	Objetivos específicos.....	14
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
3	IDENTIFICAÇÃO DA NECESSIDADE.....	16
4	DEFINIÇÃO DO PROBLEMA.....	16
4.1	Entrevista com Stakeholders	17
4.1.1	Relatório da entrevista.....	17
4.2	Levantamento de Campo	18
4.3	Pesquisa de Mercado	19
4.4	Requisitos e limitações	20
5	SÍNTESE	21
5.1	Pré Projeto	21
5.1.1	Pré-dimensionamento Geométrico	21
5.1.2	Esforços internos	22
5.1.3	Dimensionamento dos elementos da máquina.....	24
5.1.3.1	Perfis Estruturais	25
5.1.3.2	Atuador Hidráulico	35
5.1.3.3	Rodízios fixos.....	45
5.1.3.4	Rodízios Giratórios.....	47
5.1.3.5	Corrente	48
5.1.3.6	Gancho.....	49
5.1.3.7	Manilhas de carga.....	50
6	APRESENTAÇÃO DO PROJETO.....	51
7	CONCLUSÕES	58
	REFERÊNCIAS	59

1 INTRODUÇÃO

No decorrer do tempo, o homem notou que o desenvolvimento de métodos para solucionar problemas seria uma forma para alcançar o sucesso. Na Revolução Industrial ocorreu o processo de transição dos métodos de manufatura com o desenvolvimento de máquinas para elevar a produtividade. Notou-se, a partir de então, um comprometimento com os avanços tecnológicos, assegurando um aumento na qualidade de vida e o surgimento de frentes de trabalho (MARQUES, 2005).

Contudo, frentes de trabalho que demandam esforços físicos demasiados não foram extintas. Inicialmente, utilizava-se o esforço físico humano e a tração animal para empregar o transporte de cargas, práticas relacionadas à atividade humana de forma direta ou indireta. Indiferente do modo de transporte ou movimentação de cargas, essas atividades promovem riscos a elas inerentes (NAVARRO, 2002).

Muitas ferramentas, equipamentos, máquinas e normas foram implementadas para reduzir ou sanar problemas que podem ser ocasionados em função de atividades de transporte ou movimentação de cargas. Estes equipamentos específicos, chamados de máquinas de elevação e transporte, constituem um grupo de aparelhos de ação periódica, projetado como mecanismo próprio de elevação ou para elevação e movimentação de cargas (RUDENKO, 1976).

Segundo Navarro (2002), as dimensões e geometria das cargas dos equipamentos implicados na movimentação, trajeto e quantidade de pessoas envolvidas alteram a probabilidade dos riscos, tratando-se de uma equação onde existem muitas variáveis.

Acidentes de trabalho são um dos maiores motivos de invalidez e incapacitação de trabalhadores no Brasil. Segundo o Anuário Estatístico da Previdência Social - AEPS (2020), durante o ano de 2019 foram registrados no INSS 598.901 mil acidentes do trabalho.

O transporte manual de carga gera um sobrepeso fisiológico na musculatura da coluna e membros inferiores. O manuseio destas cargas é um grande responsável por parte dos traumas musculares entre os trabalhadores. Os problemas musculares ocorrem por diversos fatores, porém, 60 % destes estão relacionados a levantamento de peso, e dentre estes, 20 % são por empurrar ou puxar cargas (BRIDGER, 2003 apud LIDA, 2005, p. 179).

Segundo Lida (2005), esses riscos são comuns em trabalhadores que são requisitados a movimentar e transportar cargas sem utilizar máquinas projetadas para este fim. Lida (2005, p.179) descreve da seguinte maneira:

Isso ocorre principalmente devido à grande variação individual das capacidades físicas, treinamentos insuficientes e frequentes substituições de trabalhadores. Esforços muito intensos feitos com membros superiores são de alto potencial lesivo, principalmente porque, para eles, as pausas ou rodízios são mecanismos ineficazes de compensação.

Existem muitos tipos de máquinas de elevação e transporte fabricadas e, conseqüentemente, existem vários métodos e equipamentos que são específicos para cada aplicação. A seleção completa de equipamentos também requer conhecimento especial e características operacionais do projeto da máquina, uma compreensão da organização de produção (RUDENKO, 1976).

Ao selecionar o tipo de equipamento a ser usado para mecanizar qualquer processo de levantamento e transporte, os seguintes fatores técnicos devem ser considerados: carga a ser processada; capacidade da unidade necessária por hora; direção e características relacionadas à distância de condução e ao processo de manuseio de carga; condições específicas do local (RUDENKO, 1976).

O projeto de engenharia é orientado para a atividade que atenda às necessidades humanas. A tarefa de um engenheiro é encontrar uma solução para um problema técnico, fazendo-se do conhecimento de ciências naturais e engenharia, levando-se em consideração restrições materiais, técnicas, econômicas e legais (PAHL-WOSTL, CRAPS, *et al.*, 2007).

Neste trabalho, propôs-se projetar uma máquina de elevação e transporte do tipo grua hidráulica manual, com o objetivo de auxiliar uma equipe de manutenção em atividades de rotina que exigem esforços físicos elevados.

1.1 Justificativa

O guincho mecânico ou eletromecânico é um dispositivo composto basicamente por uma estrutura de aço, cabo de aço ou correntes, moitão, rodízios, entre outros elementos. Ele tem como finalidade a elevação, transporte e arraste de equipamentos em locais diversificados e com acesso dificultado, muito utilizado por equipes de manutenção na indústria. A utilização do guincho reduz amplamente os esforços físicos humanos, aumenta a eficiência na execução de determinadas tarefas e diminui o número de acidentes decorrentes a fatores ergonômicos. Para o acionamento, comumente utilizam-se macacos hidráulicos, motores elétricos com redutores de velocidade, atuadores, parafusos de potência etc.

A manutenção e a instalação de equipamentos na indústria demandam muito esforço físico, podendo ocasionar problemas ósseos e musculares nos colaboradores que atuam nos

setores de manutenção. Ainda que, devido ao crescimento da indústria e da robustez dos equipamentos, torna-se necessário, à medida que se reduz o espaço livre entre eles, dispositivos de pequeno porte com capacidade de carga necessária para movimentar os equipamentos, na execução das manutenções corretivas, preventivas e preditivas, quando a utilização de outros recursos, como caminhão guindauto, empilhadeiras, guindastes etc., é inviabilizada devido à falta de acesso.

O desenvolvimento deste estudo viabiliza um projeto de máquina que facilite a manutenção e instalação de equipamentos mecânicos na indústria, como por exemplo: mancais de médio e grande porte, bombas de transporte de fluido, redutores de velocidade, motores e outros.

1.2 Objetivo Geral

Desenvolver um projeto de máquina que possa ser utilizado para içar e movimentar equipamentos na indústria para que se consiga realizar a manutenção e a instalação destes, onde fica inacessível a utilização de outros recursos como guindautos, guindastes e outros.

1.3 Objetivos específicos

- Determinar a geometria da estrutura do guincho;
- Verificar a carga máxima dos equipamentos que serão içados;
- Dimensionar a estrutura e os elementos de máquina do guincho;
- Realizar estudos de carregamento estático e de fadiga;
- Definir o melhor tipo de acionamento para içamento da máquina;
- Esboçar as configurações em desenhos mecânicos os elementos de máquina.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Projetar é formular uma sequência de atividades para atender uma necessidade específica ou resolver um problema, é um processo dinâmico de intensa comunicação. O processo de comunicação com pessoas de outras disciplinas é relevante, visto que, pode prover ferramentas para facilitar a interpretação de informações úteis nos campos de matemática, estatística, computadores, desenhos e linguagens (BUDYNAS e NISBETT, 2016).

O modo como o projeto é elaborado é um exercício de criatividade aplicada. Várias formas de executar um projeto foram estudadas para organizar e estruturar a solução de um problema. Portanto, define-se a metodologia de projeto como a estrutura de sequência de passos até chegar a uma possível solução de um problema (NORTON, 2004).

Para desenvolver um projeto mecânico, deve-se verificar todos os pontos essenciais, sendo a realização de esboços ou croquis fundamental para a ruptura inicial de criação (NIEMANN, 1973).

Neste trabalho, utilizam-se as fases de projeto de elementos de máquina de Shigley (Figura 2-1).

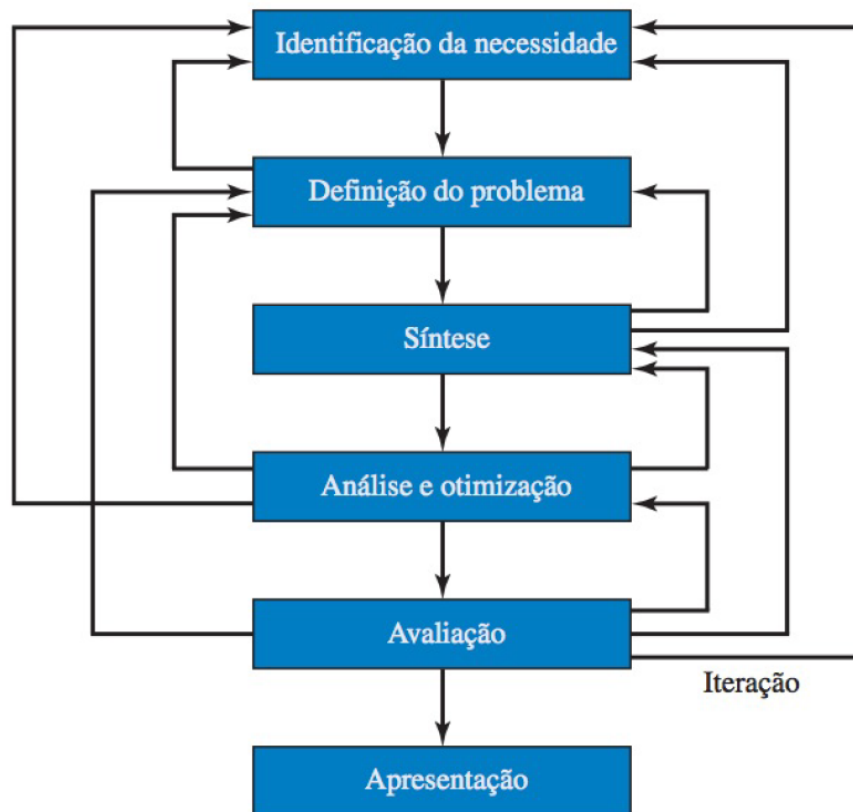


Figura 2-1: As fases de projeto e as diversas realimentações e iterações (BUDYNAS e NISBETT, 2016).

Segundo Rudenko (1976), equipamentos de elevação e transporte de cargas são grupos de aparelhos de ação periódica integrantes de toda planta industrial moderna, existem inúmeros projetos dessas máquinas, resultado de uma grande variedade de tipos e propriedades de cargas a serem movimentadas e de uma gama de operações de transporte.

Classificam-se estes equipamentos conforme a finalidade de sua fabricação, onde pode-se observar que alguns se enquadram no tipo de fabricação seriada e os demais implicam um projeto especial e específico para finalidade industrial bem característica (BRASIL, 1985).

A utilização de uma máquina de elevação e transporte com o dimensionamento adequado para o tipo de material a ser transportado, contribui para a melhor execução da tarefa e reduz grande parte do esforço físico (PASSOS, 2011).

3 IDENTIFICAÇÃO DA NECESSIDADE

O levantamento e transporte de cargas em geral se faz presente na planta industrial, existem vários recursos para realizar o içamento e movimentação dessas cargas (pontes rolantes, caminhões guindautos, empilhadeiras, monovias com talhas e catracas e outros). Porém, existem limitações em algumas plantas de onde se passam a exigir uma demanda de força dos colaboradores para levantar e movimentar as cargas. Faz-se, então, necessário projetar uma máquina para auxiliar esses colaboradores, principalmente de manutenção, visto que há limitações ergonômicas e de espaço físico entre equipamentos, o que pode gerar acidentes ou lesões a longo prazo (MONTEIRO, 2014).

Verifica-se a necessidade de uma máquina para elevar e transladar cargas em pequenas e médias distâncias em locais sem ponto de ancoragem para talhas e catracas de içamento e com acesso limitado de caminhões guindautos, empilhadeiras etc. Na entrevista com os *stakeholders* (parte interessada), essa necessidade se faz presente em equipes de manutenção na indústria, principalmente em algumas plantas industriais mais antigas, pois adaptações são realizadas sem espaço planejado para se utilizar de outros recursos.

4 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

Difere-se da declaração de uma necessidade, visto que, na definição de problema deve-se incluir os valores de entrada, especificações para a máquina a ser projetada, dimensões, limitações, valores de saída e mais detalhes de projeto (BUDYNAS e NISBETT, 2016). Para tanto, subdividiu-se a definição de problema em três etapas básicas: entrevista com

stakeholders, levantamento de campo, pesquisa de mercado. Atenta-se que esta etapa pode receber processos iterativos, a partir de que é aceitável a identificação de um problema nas etapas posteriores do projeto.

4.1 Entrevista com Stakeholders

Os *stakeholders* são indivíduos, grupos e/ou organizações que estão envolvidos no projeto direta ou indiretamente. Assim, são também alocados como parte interessada ou envolvidos (gerente de projeto, clientes, membros de equipe, organização executora, patrocinadores e outros) que podem afetar o resultado do projeto positiva ou negativamente (XAVIER, 2009).

Conhecer os desejos da parte que será diretamente relacionada com as características do produto a ser projetado é de suma importância. Alguns dos fatores questionados para elaboração do relatório foram:

1. Quais características são desejáveis na máquina?
2. Qual é a configuração mínima do equipamento?
3. Qual é a real necessidade?
4. Quais são os possíveis locais de atuação?
5. Qual é a carga máxima a ser levantada?
6. Qual o tipo de acionamento desejado?

A parte interessada entrevistada é uma equipe de manutenção industrial e de segurança no trabalho com experiência de campo ligados ao autor deste trabalho. Eles escolheram por não ter os nomes citados, então, essa entrevista foi convertida em forma de relatório que se segue.

4.1.1 Relatório da entrevista

Verificou-se com uma equipe de manutenção a forma como são transportados, retirados ou instalados equipamentos mecânicos e elétricos de locais em que suas bases não foram projetadas com espaço físico suficiente para adentrar com equipamentos de içamento e movimentação de carga.

As pessoas entrevistadas relatam que diante da ausência de máquinas para este fim, utilizam-se de paletes manuais para transportar o equipamento até próximo ao local de

instalação, e em locais que não possuam pontos para ancorar uma catraca ou talha manual, o levantamento até a base é realizado manualmente. No entanto, são poucos os locais para a instalação ou retirada destes equipamentos que não demandam esforços físicos excessivos.

As atividades que envolvem maiores esforços são realizadas a partir do momento em que os equipamentos são deixados ao lado da base, pois, neste instante junta-se uma quantidade de pessoas para transportar o equipamento até a base.

Dos equipamentos verificados pela equipe de manutenção, percebeu-se que os que mais demandam esforços são os conjuntos de motor/bomba, e o peso destes equipamentos pode variar demasiadamente, sendo que, a massa máxima relatada é de aproximadamente 500 kg. Segundo relato do técnico de segurança no trabalho, acidentes envolvendo manuseio desses equipamentos são constantes, muito embora na maioria dos casos sejam leves, ocorrem também acidentes classificados como graves: esmagamento e amputação de dedos das mãos, luxações, torções, fraturas e problemas dorsais.

Foi sugerido pelos entrevistados, um equipamento que facilitasse principalmente a instalação de bombas e o alinhamento de elementos mecânicos. Então, uma máquina que possa transportar e facilitar o manuseio destes equipamentos foi pensada, assimilando um guincho para montagem de motores automotivos e realizando adaptações, com potencialidades para melhorias futuras.

A parte interessada apresentou alguns materiais excedentes de outros projetos, e solicitou a eventual utilização deles para possível construção da máquina, sendo:

- 6000 mm linear de tubo quadrado estrutural Vallourec de 90 x 90 x 5 mm;
- Chapa de aço ASTM A36 2000 x 3000 x 6,35 mm;
- Chapa de aço ASTM A36 1000 x 1000 x 10 mm;
- 1000 mm linear de tarugo 1045 de 25,4 mm;

Ofertou-se também mão de obra qualificada para eventual execução do projeto, além de guarnições e ferramentas.

4.2 Levantamento de Campo

Em campo notou-se a necessidade de verificar as limitações e requisitos de projeto, assimilando a entrevista com realidade de execução da parte interessada.

Após ter aferido a massa dos equipamentos (500 kg), definiu-se a carga utilizando a segunda lei de Newton.

$$P = m \times g \quad (4.1)$$

$$P = 500 \times 9,81$$

$$P = 4905 \text{ N}$$

Logo, a carga de projeto fica definida sendo 5 kN.

Nas aferições da geometria de trabalho, verificou-se a altura, largura e comprimento das bases dos equipamentos que mais solicitam a utilização da máquina, como detalhado na Figura 4-1.



Figura 4-1: Coleta das dimensões do maior equipamento para aplicação da máquina.

4.3 Pesquisa de Mercado

Como se trata de um projeto específico, buscou-se verificar os principais produtos já existentes, a fim de desenvolver uma máquina mais adequada para a aplicação requerida.

Realizou-se uma pesquisa de mercado para evidenciar alguma máquina que pudesse ser aplicada, entretanto, para atender a demanda requisitada para o projeto específico não foi identificado nenhum modelo. Encontram-se vários modelos para utilização em manutenção de veículos automobilísticos, que por muitas vezes são utilizados para os mesmos fins.

Abrangeu-se esta pesquisa de mercado para definir elementos já produzidos em larga escala com resistências conhecidas e catalogadas para serem empregados na máquina a ser projetada. Os elementos pesquisados foram: atuador hidráulico, rodízios fixos, rodízios rotativos, correntes e gancho.

4.4 Requisitos e limitações

As especificações de projeto são de fundamental importância para a fase seguinte, chamada de projeto conceitual ou concepção de invenção. Esta fase é tida como uma das mais importantes, pois se trata da etapa do processo de projeto que gera, a partir de uma necessidade detectada e esclarecida, uma concepção de requisitos e limitações para um produto que atenda da melhor maneira possível a necessidade requerida (FORCELLINI e BACK, 2002).

Ao realizar o levantamento de utilizações e definir alguns materiais base para a elaboração inicial, optou-se pela confecção de um projeto simples, seguro e com boa funcionalidade, sem deixar de atender a demanda das equipes de manutenção da parte interessada. Logo, sugeriram-se acionamentos manuais que atendessem o objetivo de reduzir esforços físicos excedentes.

Os requisitos e limitações por fase de projeto podem ser verificados no Quadro 4.1.

Quadro 4.1: Requisitos e limitações por fase de elaboração.

FASE	Requisitos e limitações
Concepção	Simple e funcional
Geometria	Comprimento mínimo do braço 1350 mm
	Abertura de 900 mm entre rodízios
Fabricação	Utilização de material já adquirido
	Baixo custo
	Componentes de fácil reposição
Montagem	Fácil montagem
	Ser desmontável
	Fácil retirada de componentes

FASE	Requisitos e limitações
Uso	Suspender carga de até 5 kN
	Translado em solo plano
	Operação Simples
	Seguro e confiável
Manutenção	Baixa manutenibilidade
	Baixo custo
	Manutenção intuitiva
	Vida útil adequada

5 SÍNTESE

Também chamada de concepção de invenção, é a etapa na qual ocorre o maior número de interações, pois é onde se proporciona as possíveis soluções para a resolução do problema (NORTON, 2004).

5.1 Pré Projeto

O modelo segue para dimensionamento geométrico e dos elementos da máquina. Nesta etapa, utilizou-se a plataforma Ftool para elaborar diagramas e calcular os esforços internos da máquina e, posteriormente, realizar os dimensionamentos dos elementos.

5.1.1 Pré-dimensionamento Geométrico

Após a extração de dados da equipe de manutenção e de levantamento de campo, definiram-se as dimensões da máquina que pudessem proporcionar uma operação segura e eficaz.

Iniciou-se o dimensionamento, aferindo os locais de maiores possibilidades de atuação da máquina, que são, em maioria, bases de conjuntos de motores/bombas. Após serem conferidas as dimensões necessárias da máquina, consideraram-se as medidas e dividiu-se a máquina em

elementos descritos por letras para facilitar a identificação da estrutura como o diagrama criado na plataforma Ftool mostrado na figura 5-1.

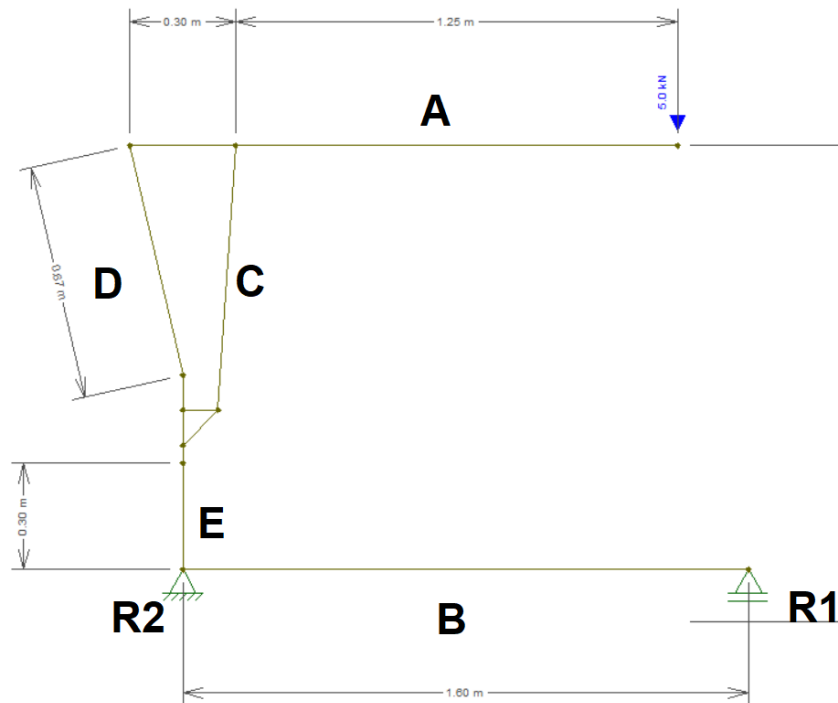


Figura 5-1: Diagrama representando o pré-dimensionamento geométrico (Autoria própria).

Os elementos A, B, e D são perfis estruturais, dimensionados com o intuito de padronizá-los. O elemento E pode ser estudado a ser substituído por um mancal para possibilitar a rotação do conjunto DCA. Um atuador hidráulico será instalado onde mostra a letra C no diagrama, observa-se que ele está em sua dimensão estendida parcialmente.

5.1.2 Esforços internos

Os esforços internos são o que mantém juntas as partículas que formam um corpo rígido, mantendo unidas as várias partes de uma estrutura. Considera-se, ainda, o equilíbrio de estruturas feitas com mais de uma parte interligada (BEER, JOHNSTON e CORNWELL, 2012).

Realizou-se a simulação dos esforços na plataforma Ftool em 3 posições: braço paralelo, posição máxima e posição mínima de içamento. Para as posições considerou-se a carga máxima. Determinaram-se os esforços normais, de cisalhamento e momentos fletores em cada posição (figuras 5-2, 5-3, 5-4).

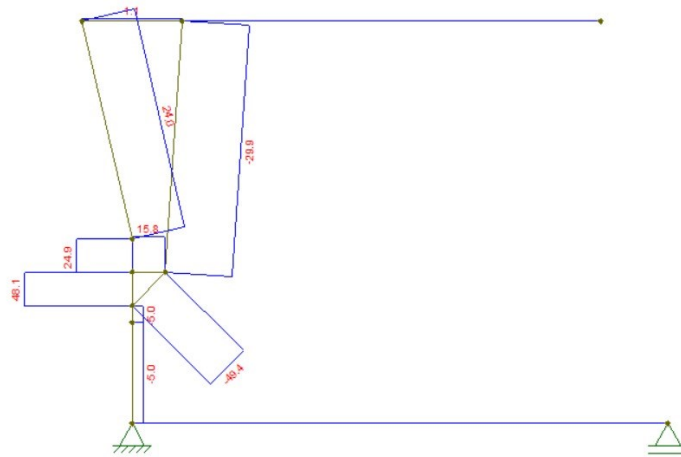


Figura 5-2: Diagrama com distribuição de esforços normais (Autoria própria).

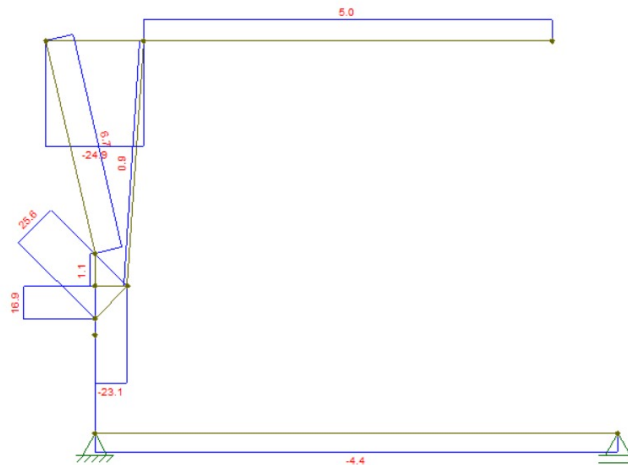


Figura 5-3: Diagrama com distribuição de esforços de cisalhamento (Autoria própria).

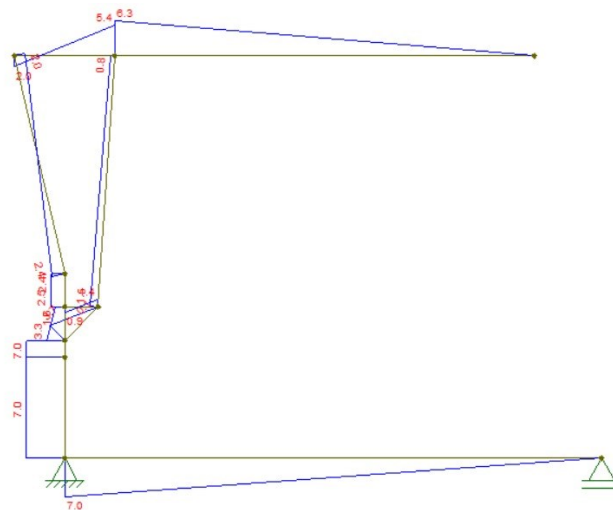


Figura 5-4: Diagrama com distribuição de esforços de momento (Autoria própria).

Definiu-se a posição 1 sendo a de içamento em que o elemento A torna-se paralelo ao elemento B. A posição 2 corresponde àquela de elevação máxima e a posição 3 refere-se à mínima. Verificaram-se os esforços na plataforma Ftool nas 3 posições para definir os esforços internos críticos e as reações nos rodízios como mostra a tabela 5.1.

Tabela 5.1: Esforços internos em ensaios na plataforma Ftool em 3 posições.

Elemento	Posição	Esforços		
		Normal (kN)	Cisalhamento (kN)	Momento (kNm)
A	1	0	6,7	6,3
	2	-2,6	4,3	5,3
	3	-11,4	-16,3	5
B	1	0	-4,4	7
	2	0	-3,6	5,8
	3	0	-3,5	5,5
C	1	-29,9	0,3	0,6
	2	-29,3	0,2	0,2
	3	-24,9	0,5	1
D	1	48,1	25,6	2,5
	2	39,2	22	2,7
	3	37,2	19,5	1,7
E	1	-5	0	7
	2	-5	0	5,8
	3	-5	0	5,5
Rodízios		Posição 1	Posição 2	Posição 3
	Reação Rodízios R1	4,9 kN	5,8 kN	4,6kN
	Reação Rodízios R2	1,5 kN	0,6 kN	1,8 kN

5.1.3 Dimensionamento dos elementos da máquina

A partir das concepções geradas, o estudo prossegue para a fase de Projeto Detalhado. Nesta fase de projeto o produto evolui de concepção ao leiaute definitivo onde a disposição, a forma, as dimensões e as tolerâncias de todos os componentes devem ser finalmente fixadas (REIS e FORCELLINI, 2003).

A realização do dimensionamento seguindo as diretrizes da literatura (normas, códigos, catálogos etc.) é necessário. Listaram-se os elementos a serem utilizados:

- Perfis estruturais;
- Atuador hidráulico;
- Rodízios fixos;
- Rodízios giratórios;
- Corrente;
- Gancho;
- Manilhas de carga;

5.1.3.1 Perfis Estruturais

Os perfis disponibilizados pela parte interessada do projeto são tubos quadrados com dimensões 90 x 90 x 5 mm (figura 5-7), porém, o material não será o suficiente para a confecção de toda a máquina, no entanto, como já foi disponibilizado também, uma chapa com espessura de 6,35 mm, ela será utilizada para a confecção do braço de elevação.

Realizou-se uma verificação de resistência no tubo para analisar se ele atende os requisitos para ser utilizado na máquina. Iniciou-se como verificação de flambagem local em regiões que ocorrem carregamentos axiais de compressão.

De acordo com a norma NBR 8800 (ABNT, 2008) as barras solicitadas a força axial de compressão, em que os elementos componentes de seção transversal possuem relações b/t não superam o valor de $(b/t)_{lim}$ dados na Figura 5-5, tem um fator de redução Q igual a 1,00 e não sofrerá flambagem local.

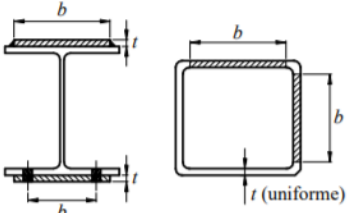
Descrição dos elementos	Alguns exemplos com indicação de b e t	$(b/t)_{lim}$
<ul style="list-style-type: none"> — Mesas ou almas de seções tubulares retangulares — Lamelas e chapas de diafragmas entre linhas de parafusos ou soldas 		$1,40 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$

Figura 5-5: Valor de $(b/t)_{lim}$ do perfil, Extraído da tabela F.1 da NBR 8800 (ABNT, 2008).

Onde:

- b é a largura do elemento;
 t é espessura;
 Q é o fator de redução total
 E Módulo de elasticidade;
 f_y Tensão de escoamento do material.

$$\frac{b}{t} \leq 1,4 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (5.1)$$

O módulo de elasticidade (E) do material é 210000 MPa, e de acordo com o catálogo de tubos *Vallourec* a tensão de escoamento (f_y) é 250 MPa. A largura (b) do elemento é 77 mm e a espessura (t) é igual a 5 mm, então:

$$\frac{77}{5} \leq 1,4 \sqrt{\frac{210000}{250}}$$

15,4 < 40,54 Ok!

Logo, como a condição foi atendida, o valor de Q fica sendo igual a 1 e o material não sofrerá flambagem local.

As cargas utilizadas para verificação do perfil, foram extraídas da tabela 5.1 e correspondem às cargas máximas.

A verificação da força axial resistente de cálculo segundo a norma NBR 8800 (ABNT, 2008) deve atender a seguinte condição:

$$N_{t,Sd} \leq N_{t,Rd} \quad (5.2)$$

Sendo:

$N_{t,Sd}$ a força axial de tração solicitante de cálculo;

$N_{t,Rd}$ a força axial de tração resistente de cálculo.

A força axial de tração solicitante de cálculo de maior intensidade no projeto é de 48,1 kN, portanto, será avaliada a resistência para esta carga.

A força axial de tração resistente de projeto pode ser calculada para escoamento da seção bruta com a equação 5.3.

$$N_{t,Rd} = \frac{A_g f_y}{\gamma_{a1}} \quad (5.3)$$

Onde:

A_g representa a área da seção bruta;

f_y a tensão de escoamento do material;

γ_{a1} coeficiente de ponderação das resistências ao escoamento, flambagem e instabilidade.

A área da seção bruta já é conhecida através do catálogo do fabricante de tubos Vallourec, $A_g = 16,2 \times 10^{-4} \text{ m}^2$. A tensão de escoamento também já conhecida como sendo 250 MPa. O Coeficiente de ponderação é verificado na tabela 5.2.

Tabela 5.2: Coeficientes de ponderação (ABNT NBR 8800, 2008).

Combinações	Aço estrutural ^a		Concreto γ_c	Aço das armaduras γ_s
	γ_a			
	Escoamento, flambagem e instabilidade γ_{a1}	Ruptura γ_{a2}		
Normais	1,10	1,35	1,40	1,15
Especiais ou de construção	1,10	1,35	1,20	1,15
Excepcionais	1,00	1,15	1,20	1,00

Para tanto, aplicando a equação 5.3:

$$N_{t,Rd} = \frac{16,2 \times 10^{-4} \times 250000}{1,10} ;$$

$$N_{t,Rd} \cong 368 \text{ kN.}$$

$$48,1 \text{ kN} \leq 368 \text{ kN}$$

Ok!

Ou seja, a condição na equação 5.2 é atendida.

A verificação na condição de compressão não foi realizada pois os carregamentos normais de compressão para esses elementos são baixos, porém, realizou-se um ensaio rápido

no software *Solidwoks*[®] e confirmou-se que a força axial de flambagem é muito pequena (fator de segurança muito elevado).

A verificação de esforço cortante resistente de cálculo seguindo as diretrizes da norma NBR 8800 (ABNT, 2008) obedece às condições mostradas na Figura 5-6.

$$\begin{aligned} & \text{— para } \lambda \leq \lambda_p: V_{Rd} = \frac{V_{pl}}{\gamma_{al}} \\ & \text{— para } \lambda_p < \lambda \leq \lambda_r: V_{Rd} = \frac{\lambda_p}{\lambda} \frac{V_{pl}}{\gamma_{al}} \\ & \text{— para } \lambda > \lambda_r: V_{Rd} = 1,24 \left(\frac{\lambda_p}{\lambda} \right)^2 \frac{V_{pl}}{\gamma_{al}} \end{aligned}$$

Figura 5-6: Condições de verificação de esforço cortante resistente de cálculo (ABNT NBR 8800, 2008).

Onde:

V_{Rd} é a força resistente de cálculo;

V_{pl} é a força cortante correspondente a plastificação da alma por cisalhamento;

λ representa o índice de esbeltez;

λ_p é o parâmetro de esbeltez para seções compactas;

λ_r é o parâmetro de esbeltez para seções semicompactas;

k_v constante para almas de seção tubular = 5.

A V_{pl} é dada pela equação 5.4:

$$V_{pl} = 0,60 A_w f_y \quad (5.4)$$

A_w é a área efetiva de cisalhamento, que para seções tubulares é representada pela equação 5.5.

$$A_w = 2 h t_w \quad (5.5)$$

h sendo igual a altura da parte plana das almas nas seções tubulares;

t_w é a espessura do perfil.

Para o perfil em verificação, a altura da parte plana é de 77 mm e a espessura é 5 mm. Portanto, aplicando na equação 5.5:

$$A_w = 2 \times 0,077 \times 0,005 \quad \therefore$$

$$A_w = 7,7 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Utilizando a equação 5.4:

$$V_{pl} = 0,60 \times 7,7 \times 10^{-4} \times 250000 \quad \therefore$$

$$V_{pl} = 115,5 \text{ kN}$$

Verificação das condições parâmetros de esbeltez:

$$\lambda \leq \lambda_p \quad (5.6)$$

Os parâmetros de esbeltez da equação 5.6 são representados respectivamente pelas equações 5.7 e 5.8.

$$\lambda = \frac{h}{t_w} \quad (5.7)$$

$$\lambda_p = 1,10 \sqrt{\frac{k_v E}{f_y}} \quad (5.8)$$

Aplicando as equações 5.7 e 5.8 na equação 5.6, verifica-se:

$$\frac{h}{t_w} \leq 1,10 \sqrt{\frac{k_v E}{f_y}} \quad \therefore$$

$$\frac{77}{5} \leq 1,10 \sqrt{\frac{5 \times 210000}{250}} \quad \therefore$$

$$15,4 \leq 71,3$$

Então para determinar a força cortante resistente de cálculo, utiliza-se da figura 5-6:

$$V_{Rd} = \frac{V_{pl}}{\gamma_{a1}} \quad (5.9)$$

$$V_{Rd} = \frac{115,5}{1,10}$$

$$V_{Rd} = 105 \text{ kN}$$

A força cortante máxima solicitante de projeto dos elementos B, D e E é de 25,6 kN, Ou seja:

$$25,6 \text{ kN} \leq 105 \text{ kN} \quad \text{Ok!}$$

Ainda de acordo com a NBR 8800 (ABNT, 2008), realizou-se a verificação do carregamento de momento, logo:

$$M_{sd} \leq M_{rd} \quad (5.10)$$

Para esta verificação, utiliza-se a equação 5.6, dos índices de esbeltez para atender à solicitação de cálculo, que, portanto, a condição já fora verificada e condiz como verdadeira, logo, a equação para determinar o M_{rd} fica:

$$M_{rd} = \frac{Z \times f_y}{\gamma_{a1}} \quad (5.11)$$

Onde:

M_{sd} é o momento solicitante de cálculo;

M_{rd} o momento resistente de cálculo;

Z módulo de resistência plástico.

O módulo de resistência plástico é fornecido vide catálogo Vallourec e o valor para o tubo quadrado 90x90x5 é de $51,4 \times 10^{-6} \text{ m}^3$, logo:

$$M_{rd} = \frac{51,4 \times 10^{-6} \times 250000}{1,10} \therefore$$

$$M_{rd} = 11,68 \text{ kNm}$$

Sabendo que o momento solicitante de cálculo máximo dos elementos B, D, e E na tabela 5.1 é de 7 kNm, então a equação 5.10 é atendida, logo:

$$7 \text{ kNm} \leq 11,68 \text{ kNm} \quad \text{Ok!}$$

A norma NBR 8800 (ABNT, 2008) estabelece que, além das verificações dos carregamentos individuais para os elementos, deve-se também verificar suas combinações, previstas no item 5.5.1.1 da norma. Assim deve-se atender a estrutura condicional:

Se:

$$\frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} \geq 0,2 \quad (5.12)$$

Então:

$$\frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{x,Sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} \right) \leq 1,0 \quad (5.13)$$

Ou, se:

$$\frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} < 0,2 \quad (5.14)$$

Logo:

$$\frac{N_{Sd}}{2 N_{Rd}} + \left(\frac{M_{x,Sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} \right) \leq 1,0 \quad (5.15)$$

Aplicando a verificação da condição, tem-se:

$$\frac{48,1}{368} < 0,2 \quad \therefore$$

$$0,13 < 0,2$$

Como a condição atende à equação 5.14, a equação para verificação da combinação dos esforços é a 5.15:

$$\frac{48,1}{2 \times 368} + \left(\frac{7}{11,68} + 0 \right) \leq 1,0$$

$$0,66 \leq 1,0$$

Ok!

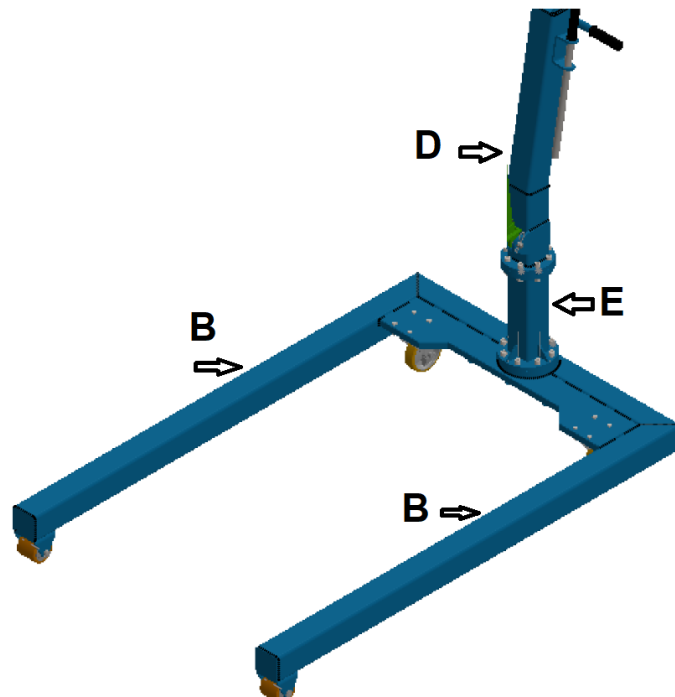


Figura 5-7: Elementos verificados seguindo a norma NBR 8800 (ABNT, 2008).

A verificação e dimensionamento do perfil A, fora realizada na plataforma CAD/CAE *Solidworks*®. A princípio, o material utilizado para este elemento, também seria o perfil tubular 90 x 90 x 5 da Vallourec. No entanto, a quantidade restante para a confecção do elemento A não seria o suficiente, então, utilizou-se a chapa de aço ASTM A36 de 6,35 mm que será dobrada e soldada em uma geometria prismática, aumentando a altura h à medida que o carregamento de momento é elevado ao longo da viga, como mostra a figura 5-8.

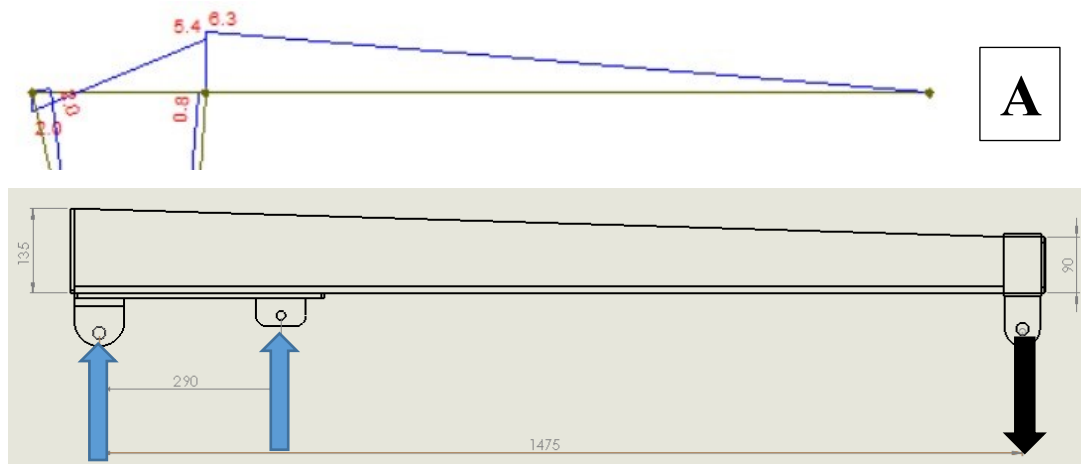


Figura 5-8: Representação do braço de elevação da máquina elemento A (Autoria própria),

Nota-se que a altura varia linearmente com a distribuição do carregamento de momento fletor.

Então, realizou-se a simulação da seguinte forma:

- Especificou-se o material que será testado no software (Aço ASTM A36);
- Definiram-se os apoios, no caso, os furos onde serão acoplados os pinos mostrados na figura 5-8 (*seta azul*);
- Aplicou-se a carga de 5 kN no local onde será acoplada a corrente e o gancho para elevação (*seta preta*);
- Criou-se a malha de elementos finitos, automaticamente realizada no software (figura 5-9);
- Aplicou-se o *solver*;
- Obtiveram-se os resultados.

O ensaio realizado é baseado no método de elementos finitos (MEF), que se constitui na formação de malhas sobre a peça ou estrutura a ser analisada, formando subconjuntos de elementos com geometrias simplificadas, como, triangulares e quadriculares. Depois disso, realiza-se a análise em todos os elementos e nós distribuídos sobre o objeto de estudo (AZEVEDO, 2003).

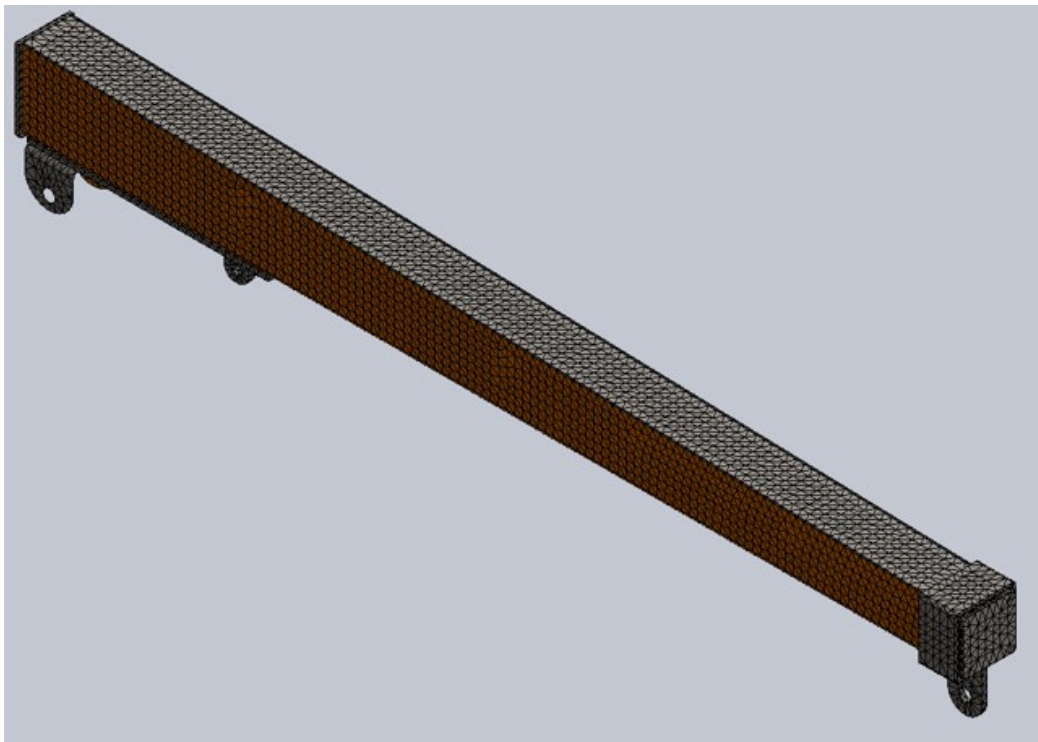


Figura 5-9: Malha gerada para análise estática no Solidworks® (Autoria própria).

O ensaio resultou nas tensões de von Mises apresentadas na Figura 5-10.

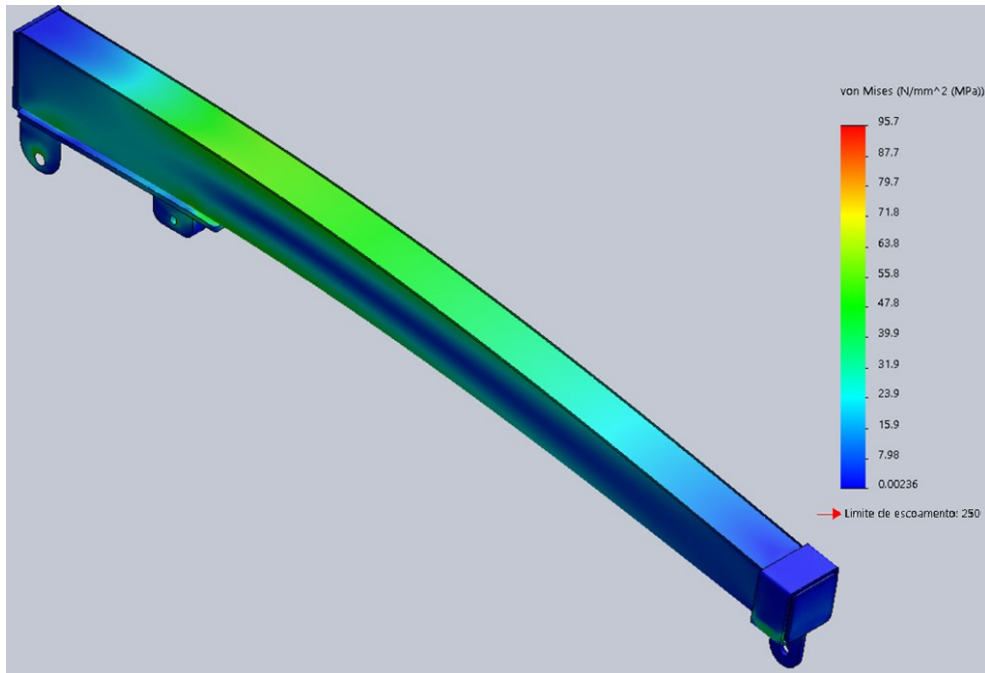


Figura 5-10: Resultado da simulação no braço de elevação (Autoria Própria).

Destaca-se que a tensão máxima exercida em todo o elemento, incluindo os componentes de ligação foi de 95,7 MPa e que o limite do escoamento do material é de 250 MPa como mostra a figura 5-10, portanto, o elemento suporta a carga com boa margem de segurança para carregamento estático ($S = 2,62$).

Realizou-se também um estudo de fadiga no *Solidworks*[®], pois a carga emitida ao acionar o atuador hidráulico é variável, tem-se como resultado a ilustração na figura 5-11.

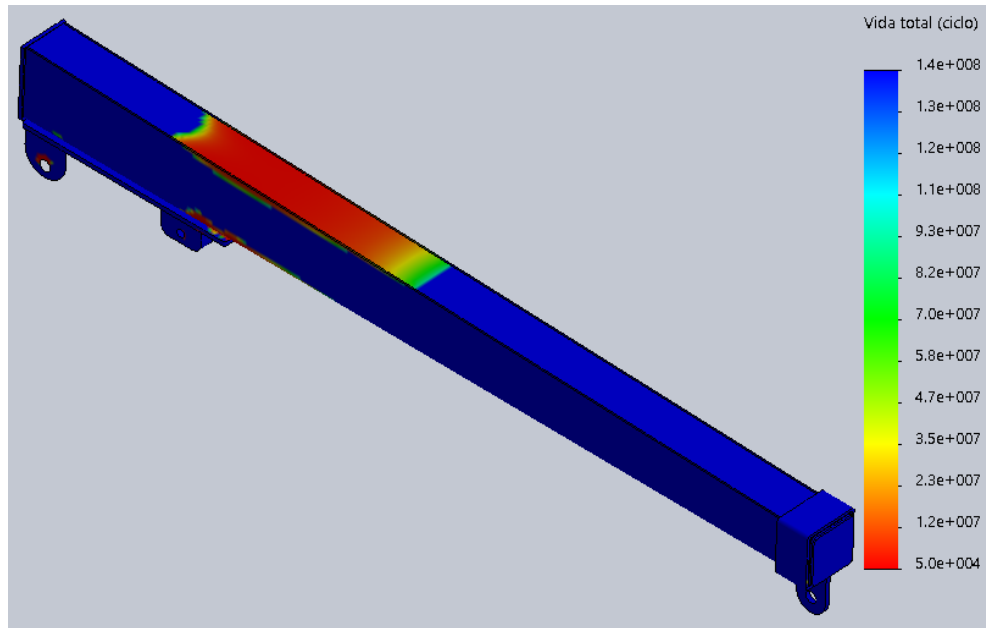


Figura 5-11: Ensaio de vida à fadiga realizado (Autoria própria).

Classificou-se a máquina seguindo as orientações da norma NBR 8400 (ABNT, 1984), como sendo uma grua de aplicação regular em serviço intermitente de classe de utilização B, para uma utilização média diária de 5 ciclos. Estima-se que o elemento raramente seja submetido à sua tensão máxima projetada, assim, enquadra-se a máquina no estado de tensões 1, com faixa de tensão admissível na região crítica mostrada na figura 5-11 de aproximadamente 80 Mpa.

5.1.3.2 Atuador Hidráulico

O atuador hidráulico é um elemento utilizado para guiar parte de um mecanismo em trajetórias pré-definidas, realizando deslocamentos lineares ou angulares, capaz de transmitir força ou toque por meio de transmissão de potência hidráulica (FIALHO, 2019).

Fialho (2019) mostra que por se tratar de um componente com alta capacidade de carga e ter haste relativamente esbelta, o colapso ocorrerá sempre na direção do eixo de menor momento de inércia de sua seção transversal. Para este caso, o critério de Euler para flambagem é comumente utilizado para o dimensionamento do diâmetro da haste como mostrado na equação 5.16.

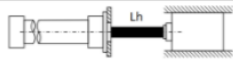
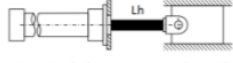

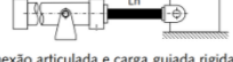
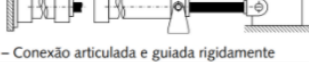
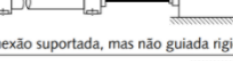
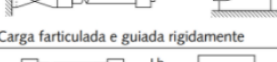
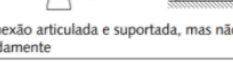
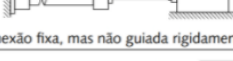
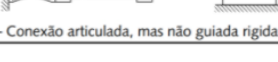
$$dh = \sqrt[4]{\frac{64 \times S \times \lambda^2 \times Fap}{\pi^3 \times E}} \quad (5.16)$$

Onde:

- dh é o diâmetro da haste do atuador;
 S representa o fator de segurança;
 λ comprimento livre de flambagem;
 Fap a força de avanço;
 E o módulo de elasticidade do aço
 Lh comprimento da haste.

Para tanto, se faz necessário conhecer o valor de comprimento livre de flambagem (λ), que varia de acordo com a instalação do atuador hidráulico na máquina, conforme a tabela 5.2. Fialho (2019) recomenda o valor de 3,5 para o coeficiente de segurança (S). A força de avanço de projeto (Fap) fora determinada utilizando a plataforma Ftool. Como o atuador hidráulico corresponde ao elemento C na tabela 5.1, a Fap necessária para elevar a carga máxima é de aproximadamente 30 kN.

Tabela 5.3 Comprimento livre de flambagem (FIALHO, 2019).

	Representação da condição funcional da haste	Comprimento livre de flambagem λ
Cargas de Euler	 Caso 1 – Conexão rígida e carga guiada rigidamente	$\lambda = \frac{Lh}{2}$
	 Caso 2 – Conexão articulada e carga guiada rigidamente	$\lambda = 0,707 \cdot Lh$
	 Caso 3 – Conexão rígida e carga guiada rigidamente	$\lambda = Lh$
	 Caso 4 – Conexão articulada e carga guiada rigidamente	
	 Caso 5 – Conexão articulada e guiada rigidamente	$\lambda = 1,5 \cdot Lh$
	 Caso 6 – Conexão suportada, mas não guiada rigidamente	$\lambda = 2 \cdot Lh$
	 Caso 7 – Carga articulada e guiada rigidamente	
	 Caso 8 – Conexão articulada e suportada, mas não guiada rigidamente	$\lambda = 3 \cdot Lh$
	 Caso 9 – Conexão fixa, mas não guiada rigidamente	$\lambda = 4 \cdot Lh$
	 Caso 10 – Conexão articulada, mas não guiada rigidamente	

Para a situação de instalação do atuador hidráulico na máquina, o caso 10 da tabela 5.2 é aquele que apresenta maior similaridade com a situação de projeto. Portanto, a equação para o comprimento livre de flambagem fica definida como:

$$\lambda = 4 \times Lh \quad (5.17)$$

O comprimento da haste (Lh) é o curso máximo do atuador. Para atender aos requisitos de projeto, definiu-se um comprimento de haste de 350 mm. Então, aplicando a equação 5.17 na 5.16, obtém-se:

$$dh = \sqrt[4]{\frac{64 \times S \times (4 \times Lh)^2 \times Fap}{\pi^3 \times E}} \quad (5.18)$$

Aplicando as variáveis na equação 5.18 para determinar o diâmetro da haste (dh), sabendo o módulo de elasticidade do aço $E = 2,1 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$, tem-se:

$$dh = \sqrt[4]{\frac{64 \times 3,5 \times (4 \times 350)^2 \times 30000}{\pi^3 \times 210000}}$$

$$dh = 37,71 \text{ mm}$$

Fialho (2019) diz que diâmetro da haste calculado deve ser menor ou igual ao diâmetro comercial. Assim, verificou-se em catálogos de vários fabricantes e definiu-se pela utilização do atuador hidráulico da marca Bovenau, pois, esta atende a todas as exigências geométricas especificadas no projeto e suporta a carga máxima requerida.

O atuador hidráulico selecionado foi o *G200EH*, com diâmetro da haste de 40 mm e que suporta carga de até 8,5 toneladas (aproximadamente 83,4 kN).

Unidades Hidráulicas

Hydraulics Units / Unidades Hidráulicas



Código Part number Codigo	G50EH	G51A	G100EH	G100DH	G200EH	G200DH	G300EH
Capacidade Capacity Capacidad	1,9 ton.	1,9 ton.	5 ton.	5,5 ton.	8,5 ton.	11 ton.	9,5 ton.
A (mm)	26	28	30,5	37,5	40	43,8	43,5
B (mm)	13,5	19,5/16	19,5	26	23,5	26	26
C (mm)	293	517	317	568	357	554	453
D (mm)	60,3	70	60	70	89	101,5	89
E (mm)	380	650	484	700	563	693,5	609
F (mm)	673,5	1167	801	1268	920	1247,5	1062
G (mm)	83x108	90x115	89x108	90x115	125x136	116x144	125x136
Peso Weight Peso	6 kg	10,5 kg	6,5 kg	13 kg	9,5 kg	10kg	12 kg

Figura 5-12: Especificações vide catálogo de atuadores hidráulicos Bovenau.

Na Figura 5-13, tem-se o desenho representando o elemento C (atuador hidráulico) na figura 5-13:

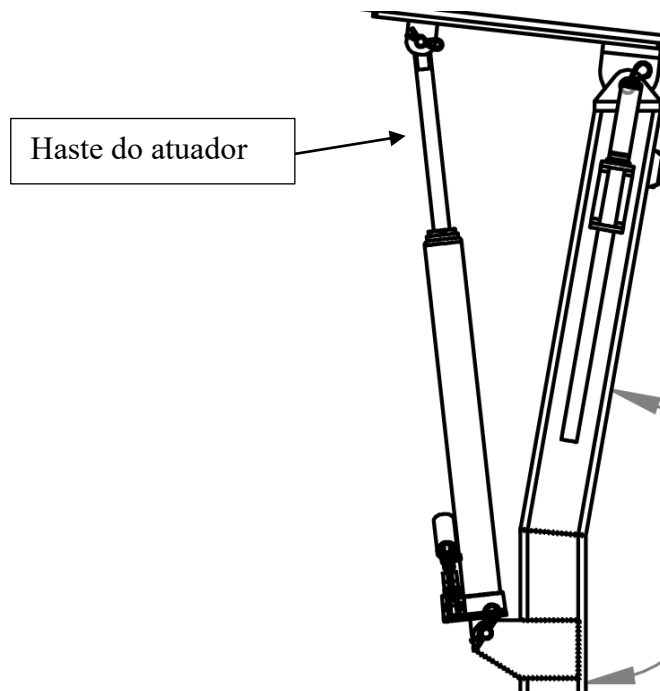


Figura 5-13: Representação ilustrativa do atuador hidráulico instalado na máquina.

O apoio do atuador (figura 5-14), representa o local que obtém os maiores carregamentos, então, a solda será dimensionada com base nesse elemento. Sabe-se que, de acordo com a tabela 5.1 a força exercida pelo atuador é descarregada em sua base de apoio, portanto, a carga utilizada para o dimensionamento de solda é de 30 kN, conforme Tabela 5-1.

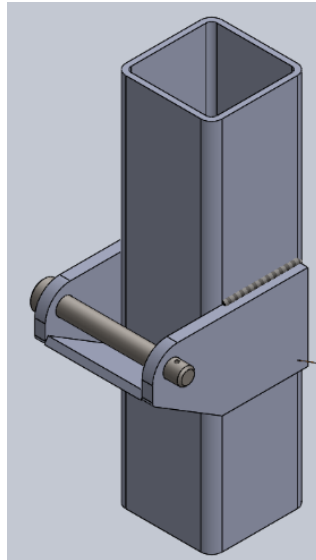


Figura 5-14: Apoio pinado do atuador (Autoria própria).

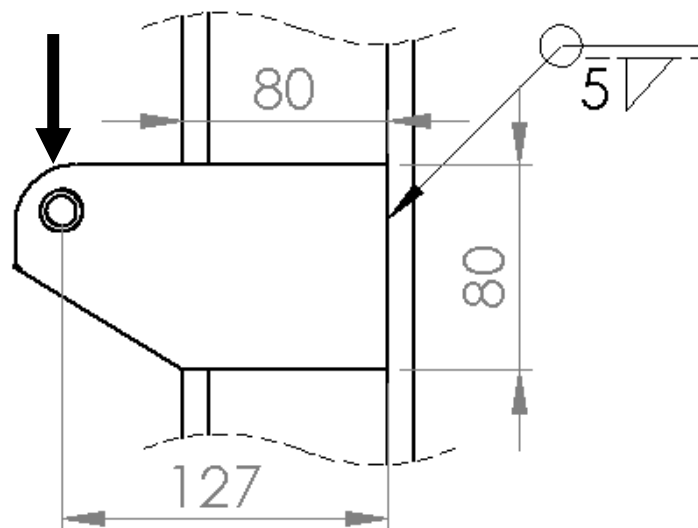


Figura 5-15: Simbologia de solda com representação do carregamento (Autoria própria).

A figura 5-15 ilustra a simbologia de soldagem e o carregamento exercido através do atuador quando em elevação de carga, representando uma solda de filete de 5 mm, visto que a espessura na chapa do apoio do atuador é de 10 mm, o tamanho de solda foi definido segundo os critérios da Figura 5-16 extraído de Budynas e Nisbett (2016).

Espessura do material da parte unida mais espessa, mm		Tamanho de solda, mm
*Até 6 incl.		3
Acima de 6	Até 12	5
Acima de 12	Até 20	6
†Acima de 20	Até 38	8
Acima de 38	Até 58	10
Acima de 58	Até 150	12
Acima de 150		16

Não exceder a espessura da parte mais fina.
 *Tamanho mínimo para aplicação em pontes não atinge valor inferior a 5 mm.
 †Para tamanho mínimo de solda de filete, a lista não ultrapassa a medida de 8 mm.
 de solda de filete para cada 20 mm de material.

Figura 5-16: Tamanho mínimo de solda de filete (BUDYNAS e NISBETT, 2016).


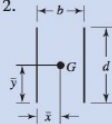
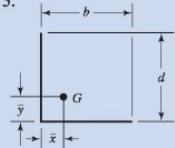
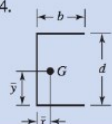
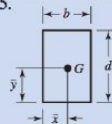

Solda	Área de garganta	Localização de G	Segundo momento polar unitário de área
1. 	$A = 0,707hd$	$\bar{x} = 0$ $\bar{y} = d/2$	$J_u = d^3/12$
2. 	$A = 1,414hd$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$J_u = \frac{d(3b^2 + d^2)}{6}$
3. 	$A = 0,707h(b + d)$	$\bar{x} = \frac{b^2}{2(b + d)}$ $\bar{y} = \frac{d^2}{2(b + d)}$	$J_u = \frac{(b + d)^4 - 6b^2d^2}{12(b + d)}$
4. 	$A = 0,707h(2b + d)$	$\bar{x} = \frac{b^2}{2b + d}$ $\bar{y} = d/2$	$J_u = \frac{8b^3 + 6bd^2 + d^3}{12} - \frac{b^4}{2b + d}$
5. 	$A = 1,414h(b + d)$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$J_u = \frac{(b + d)^3}{6}$
6. 	$A = 1,414\pi hr$		$J_u = 2\pi r^3$

Figura 5-17: Configurações para propriedades torcionais de soldas de filete (BUDYNAS e NISBETT, 2016).

Atendendo a esses critérios, iniciou-se a verificação da solda calculando a área de garganta que atende a configuração 5 da figura 5-17.

Portanto:

$$A = 1,414h(b + d) \therefore \quad (5.19)$$

$$A = 1,414 \times 5(80 + 80)$$

$$A = 1131,2 \text{ mm}^2$$

Onde:

A representa a área da garganta da solda;

h é o tamanho da solda;

b a largura da solda;

d altura da solda.

Faz-se necessário calcular as tensões primária e secundária de cisalhamento, onde a tensão primária pode ser facilmente encontrada, conhecido que o carregamento submetido ao apoio soldado é $30/2 = 15 \text{ kN}$. Logo:

$$\tau' = \frac{V}{A} \therefore \quad (5.20)$$

$$\tau' = \frac{15000}{1131,2}$$

$$\tau' = 13,26 \text{ MPa}$$

É sabido que:

τ' é a tensão primária de cisalhamento;

τ'' é a tensão secundária de cisalhamento;

V o carregamento de cisalhamento.

A tensão secundária é devida ao carregamento de momento gerado pela carga aplicada e a distância do centroide do grupo de solda no perfil. Então, o cálculo do centroide é verificado ainda segundo a configuração 5 da figura 5-16 e como a o diagrama em questão é simétrico $\bar{x} = \bar{y}$:

$$\bar{x} = \bar{y} = \frac{80}{2} \quad (5.21)$$

$$\bar{x} = \bar{y} = 40 \text{ mm}$$

Para melhor análise, criou-se um diagrama de corpo livre como sugere a figura 5-18:

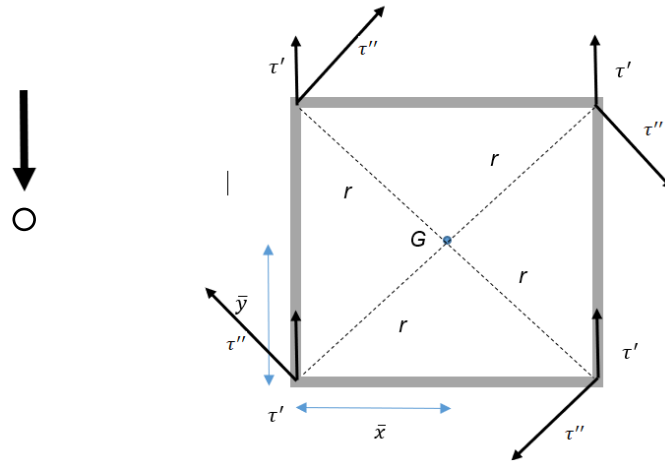


Figura 5-18: Diagrama de corpo livre de uma das chapas laterais soldadas (Autoria própria).

A distância r pode ser facilmente calculada utilizando:

$$r = \sqrt{(\bar{x})^2 + (\bar{y})^2} \quad (5.22)$$

$$r = \sqrt{(40)^2 + (40)^2} \quad \therefore$$

$$r = 57,57 \text{ mm}$$

A distância l da força aplicada até o centroide do grupo de solda é de 87 mm, então o momento gerado devido o carregamento é:

$$M = F \times l \quad (5.23)$$

$$M = 15000 \times 0,087 \quad \therefore$$

$$M = 1305 \text{ Nm}$$

Onde:

\bar{x} é a distância do ponto médio em x ;

\bar{y} a distância do ponto médio em y ;

r distância para cálculo de momento;

M carregamento de momento;

- F carregamento principal;
 l distância do carregamento principal até G .
 G é o centroide do grupo de solda;
 J segundo momento polar de área;
 Ju segundo momento polar unitário de área;

Segundo Budynas e Nisbett (2016), o segundo momento polar de área (J) para esta configuração pode ser definido com a equação 5.24:

$$J = 0,707 \times h \times \left(\frac{(b + d)^3}{6} \right) \therefore \quad (5.24)$$

$$J = 0,707 \times h \times \left(\frac{(80 + 80)^3}{6} \right) \therefore$$

$$J \cong 2,41 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

Assim, a tensão secundária de cisalhamento (τ'') é determinada com a equação 5.25:

$$\tau'' = \frac{Mr}{J} \therefore \quad (5.25)$$

$$\tau'' = \frac{1305 \times 10^3 \times 57,57}{2,41 \times 10^6} \therefore$$

$$\tau'' = 31,18 \text{ MPa}$$

A tensão máxima atuante no conjunto dos corpos de solda pode ser analisada com a soma vetorial dos componentes das tensões, e conhecendo os ângulos entre os vetores representativos, nota-se analiticamente que a tensão máxima estará localizada nos pontos mais próximos do carregamento. Então, verificando os ângulos entre os componentes, a soma vetorial torna-se aquela mostrada na equação 5.26:

$$\tau_{m\acute{a}x} = \sqrt{(\tau'' \times \cos \emptyset)^2 + (\tau' + \tau'' \times \sin \emptyset)^2} \therefore \quad (5.26)$$

$$\tau_{m\acute{a}x} = \sqrt{(31,18 \times \cos 45)^2 + (13,26 + 31,18 \times \sin 45)^2} \therefore$$

$$\tau_{m\acute{a}x} = 41,63 \text{ MPa}$$

Sendo:

$\tau_{m\acute{a}x}$ a tens\~ao de cisalhamento m\~axima atuante no conjunto de solda;

\emptyset o \~angulo entre as tens\~oes prim\~arias e secund\~arias do lado da for\~ca aplicada.

A tens\~ao de cisalhamento permitida na garganta de solda de filete est\~a detalhada na figura 5-19, logo, o eletrodo selecionado para a realiza\~cao da soldagem na m\~aquina ser\~a o AWS E6010.

Como verificado na figura 5-19 a solda com o eletrodo AWS E60xx, suporta uma tens\~ao de cisalhamento de 124 MPa, portanto, ainda h\~a uma margem boa para a seguran\~ca do equipamento.

Lista A: Carga permitida para v\~arios tamanhos de soldas de filete							
N\~ivel de resist\~encia do metal de solda (EXX)							
	60*	70*	80	90*	100	110*	120
Tens\~ao de cisalhamento permitida (MPa) na garganta de solda de filete ou solda de entalhe de penetra\~ao parcial							
$\tau =$	124	145	165	186	207	228	248
For\~ca unit\~aria permitida em solda de filete, N/m							
$\dagger f =$	87,67h	102,52h	116,66h	131,5h	146,35h	161,2h	175,34h
Tamanho de perna h, mm	For\~ca unit\~aria permitida para v\~arios tamanhos de soldas de filete N/m						
25	2 192	2 563	2 916	3 288	3 659	4 030	4 383
22	1 929	2 255	2 566	893	3 220	3 546	3 857
20	1 753	2 050	2 333	2 630	2 927	3 224	3 506
16	1 403	1 640	1 866	2 104	2 342	2 579	2 805
12	1 052	1 230	1 400	1 578	1 756	1 934	2 104
11	964	1 127	1 283	1 447	1 610	1 773	1 927
10	877	1 025	1 167	1 315	1 463	1 612	1 753
8	701	820	933	1 052	1 171	1 290	1 403
6	526	615	700	789	878	967	1 052
5	438	513	583	658	732	806	877
3	263	308	350	395	439	484	526
2	175	205	233	263	293	322	351

* Soldas de filete realmente ensaiadas pelo Comit\~e de Trabalho Conjunto da AISC-AWS.
 $\dagger f = 0,707h\tau_{adm}$.

Figura 5-19: Cargas e tens\~oes permitidas para v\~arios tamanhos de soldas de filete (BUDYNAS e NISBETT, 2016).

5.1.3.3 Rodízios fixos

Estes são representados na figura 5-1 por R1. Trata-se dos elementos que possibilitam o movimento longitudinal da máquina. Como a carga máxima sobre os rodízios poderá ser também a máxima de elevação mais o peso próprio do equipamento, procurou-se por um fabricante que atendesse as especificações de carga e de geometria solicitantes da máquina. Definiu-se pela utilização dos rolos moldados de poliuretano RE.G5-80x70-RSL da marca Eles+Ganter com definições geométricas e de cargas mostradas na figura 5-20 e tabela 5.4.

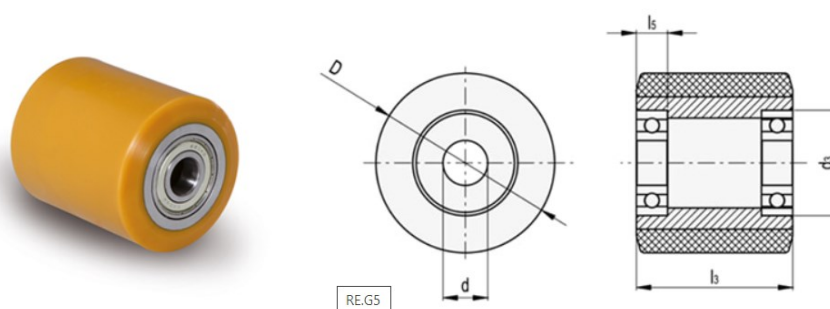


Figura 5-20: Rodízios para utilização nos apoios R1 (Catálogo Eles+Ganter).

Tabela 5.4: Especificações utilizadas para seleção dos rolos R1 (Eles+Ganter)

Código	Descrição	D	d	d ₃	l ₃	l ₅	Carga estática # [N]	Resistência ao rolamento # [N]	Capacidade de carga dinâmica # [N]	
452791	RE.G5-80x70-RSL	80	20	47	70	14	8000	2500	7000	1060
452792	RE.G5-80x90-RSL	80	20	47	90	14	10.000	3350	9000	1350
452797	RE.G5-82x70-RSL	82	20	47	70	14	8000	2550	7000	1090
452798	RE.G5-82x90-RSL	82	20	47	90	14	10.000	3400	9000	1330
452799	RE.G5-82x100-RSL	82	20	47	100	14	11000	3900	10.000	1450
452793	RE.G5-85x40-RSL	85	20	47	40	14	4500	1500	4000	720
452794	RE.G5-85x70-RSL	85	20	47	70	14	8000	2650	7000	1120
452795	RE.G5-85x90-RSL	85	20	47	90	14	10.000	3500	9000	1390
452796	RE.G5-85x100-RSL	85	20	47	100	14	11000	4000	10.000	1520

A figura 5-20 mostra que para o funcionamento dos rodízios é necessário a confecção dos suportes de adaptação e dimensionamento do eixo de alojamento dos rolamentos. Utilizou-se a plataforma CAD/CAE (Solidworks®) para simulação dos esforços solicitantes de projeto, e realizou-se ensaios para verificar a resistência.

Iniciou-se o desenho (figura 5-21) definindo a espessura da chapa de suporte (6,35 mm) e o material de ensaio sendo um aço ASTM A36.

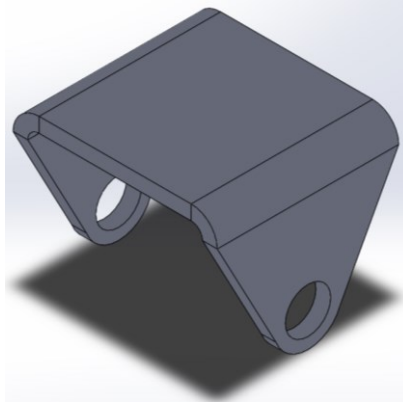


Figura 5-21: Suporte de aço para adaptação do rodízio (Autoria própria).

A análise inicia-se aplicando as condições essenciais de contorno (fixação dos furos) e, posteriormente, os esforços solicitantes de projeto (condições naturais de contorno) (figura 5-22), que neste caso será dimensionado para a carga máxima que o rodízio suporta, vide tabela 5.4 (8 kN). Gera-se, então, a malha (Figura 5-23) e procedem-se os cálculos.

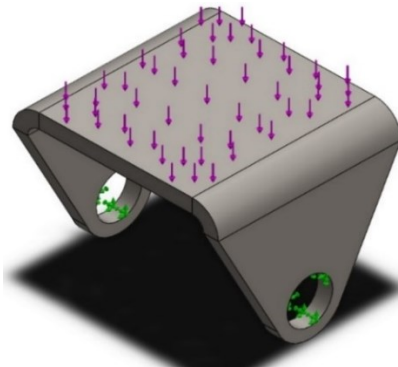


Figura 5-22: Postagem dos apoios (furo de eixo) e carga solicitante (face plana superior) (Autoria própria).

A aplicação da malha é apresentada na figura 5-23:

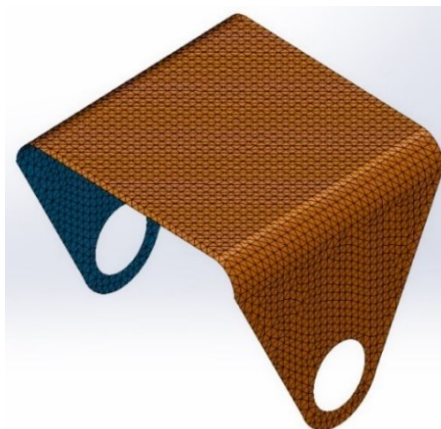


Figura 5-23: Aplicação automática da malha no solidworks (Autoria própria).

Obteve-se, após a execução da simulação, a tensão máxima de 88,2 MPa, sendo o limite de escoamento do material 250 MPa como mostrado na figura 5-24.

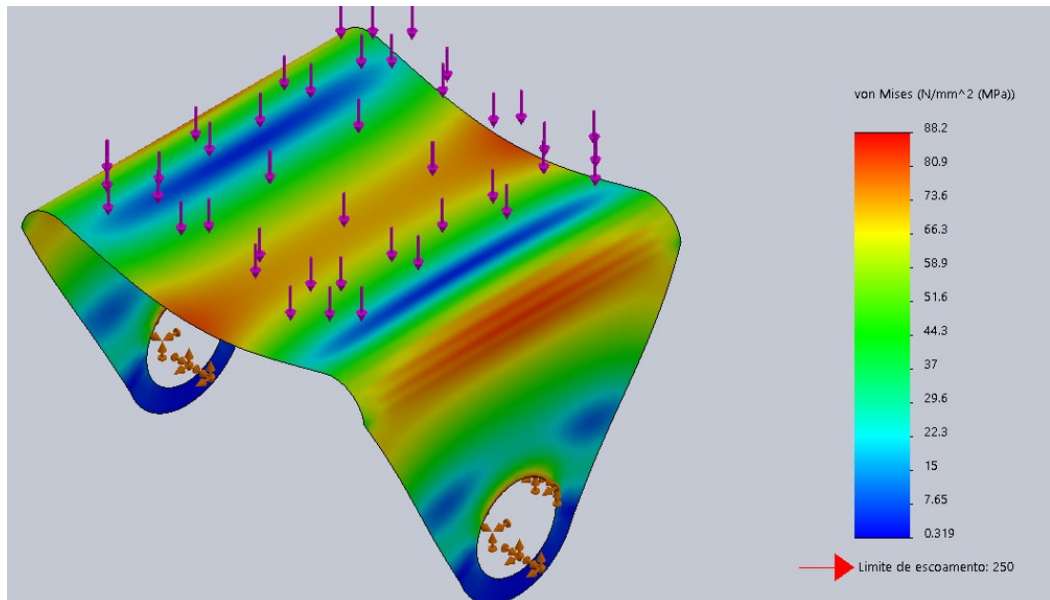


Figura 5-24: Resultado da simulação de esforços no SolidWorks (Autoria própria).

Para verificar o fator de segurança calcula-se a razão entre o limite de escoamento (f_y) e a tensão máxima verificada nos resultados (N_{sd}). Ou seja:

$$S = \frac{f_y}{N_{sd}} \quad 5.27$$

Portanto:

$$S = \frac{250}{88,2}$$

$$S = 2,83$$

Constata-se que esse valor para o fator de segurança é para a carga máxima que o rodízio suporta e que o carregamento efetuado sobre o rodízio será menor, o que implicaria um coeficiente de segurança ainda maior.

5.1.3.4 Rodízios Giratórios

Estes elementos são os que possibilitam que a máquina realize curvas para a movimentação no plano. São especificados neste projeto na figura 5-1 como R2, a reação do

carregamento máximo solicitado sobre este elemento segundo a tabela 5.1 é de 1,8 kN. Segue o esquema do rodízio giratório com freio na figura 5-25.

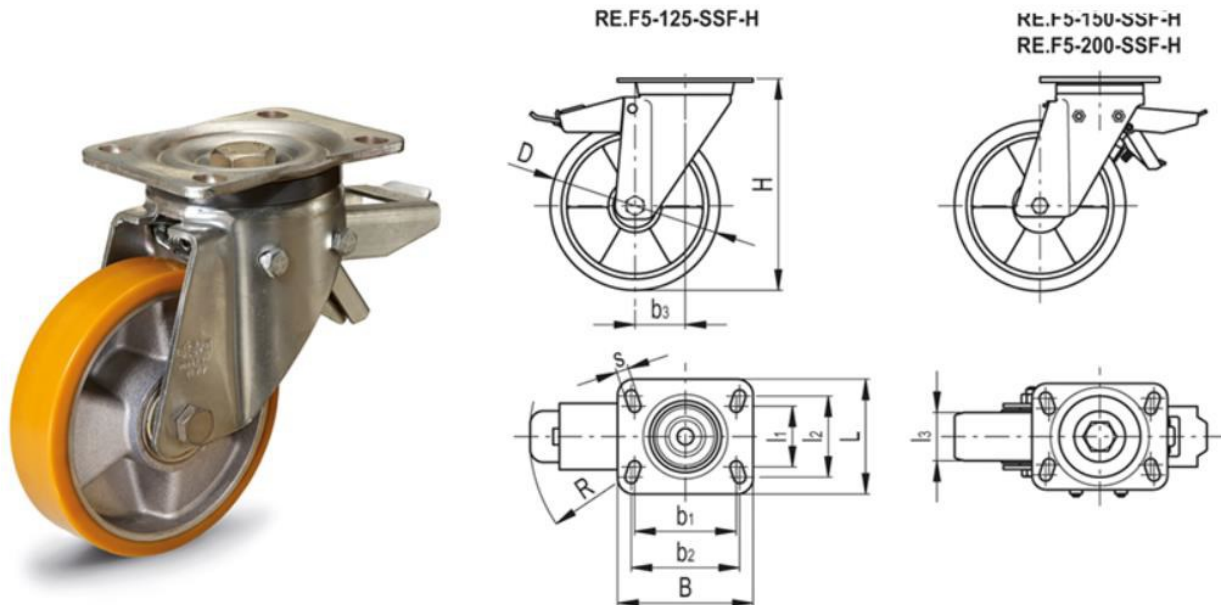


Figura 5-25: Rodízios giratórios para cargas médio pesadas (Catálogo Eles+Ganter).

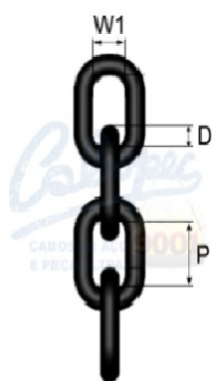
Consultou-se o catálogo do fabricante Eles+Ganter e definiu-se o rodízio especificado na tabela pela descrição RE.F5-125-SSF-H com capacidade de carga de até 3.5 kN.

5.1.3.5 Corrente

As correntes são elementos muito utilizados na indústria. Elas se adaptam a diversos processos de amarração e elevação de cargas, oferecendo maior resistência e menor peso no material (CABOPEC, 2021). Elas são utilizadas juntamente com acessórios como ganchos, anéis e tensionadores de corrente.

Para este projeto selecionou-se a corrente com Ref. 6-8E da tabela 5.5 devido à disposição do material na máquina ser de modo simplório e o comprimento efetivo ser de aproximadamente 200 mm. A capacidade de carga para essa corrente é de 1,12 t.

Tabela 5.5: Especificações técnicas de correntes (Catálogo Cabopec).



Corrente grau 8

Ref.	Carga	Dim. (mm)			Peso kgs/m
		D	P	W1	
6-8E	1,12t	6	18	8,5	0,8
7-8E	1,5t	7	21	10,0	1,1
8-8E	2,0t	8	24	11,0	1,4
10-8E	3,15t	10	30	14,0	2,2
13-8E	5,3t	13	39	18	3,7
16-8E	8,0t	16	48	22	5,6
19-8E	11,2t	19	57	26,0	7,8
22-8E	15,0t	22	66	30	11,0
26-8E	21,2t	26	78	35,0	14,3
32-8E	31,5t	32	96	43	23

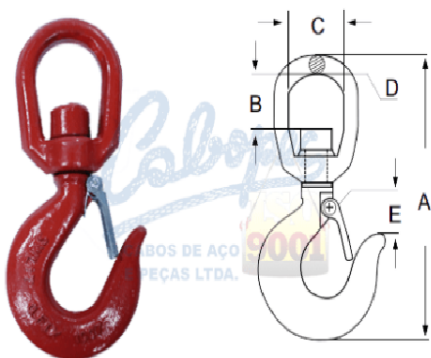
Os outros componentes que integram os acessórios de içamento adaptados a máquina são o gancho e as manilhas.

5.1.3.6 Gancho

O gancho foi selecionado seguindo o mesmo critério da corrente, com um detalhe de que o elemento selecionado possibilita rotações completas antes do içamento, que traz conforto à operação (CABOPEC, 2021). O gancho giratório selecionado foi o de Ref. GG-0100 com capacidade de cagar de 1 t.

De acordo com a NR-12 (2019) os cabos de aço, correntes, eslingas, ganchos e outros elementos de suspensão ou tração e suas conexões devem ser adequados ao tipo de material e dimensionados para suportar os esforços solicitantes. Então, o elemento selecionado resiste a uma carga superior à solicitada.

Tabela 5.6: Especificações técnicas de gancho de içamento (Catálogo Cabopec).



Referência	Dimensões (mm)					Carga de Trab. kgf	Peso Unit. kg
	A	B	C	D	E		
GG-0075	143	25	30	10	24	750	0,410
GG-0100	170	33	37	13	25	1.000	0,620
GG-0150	195	42	44	16	26	1.500	1,000
GG-0200	210	42	44	16	30	2.000	1,300
GG-0300	250	45	50	20	38	3.000	2,320
GG-0500	320	59	63	25	45	5.000	4,730
GG-0750	375	64	70	29	51	7.500	7,340
GG-1000	417	63	79	32	67	10.000	10,500
GG-1500	542	95	104	38	87	15.000	21,300

Fator de Segurança: 5x a carga de trabalho

Observação: Não utilizar para rotação de carga após o içamento para esse modelo de gancho.

5.1.3.7 Manilhas de carga

São acessórios de conexão de suporte de carga em forma de U projetados para serem usados com um pino removível. As manilhas podem ser usadas em diversas aplicações de amarração e fixação de carga para conectar diferentes tipos de eslingas de içamento, correntes ou cabos a um objeto ou entre si (CABOPEC, 2021). Na situação da máquina, serão utilizadas 2 manilhas com objetivo de unir a corrente à máquina e o gancho à corrente como ilustra a figura 5-26.

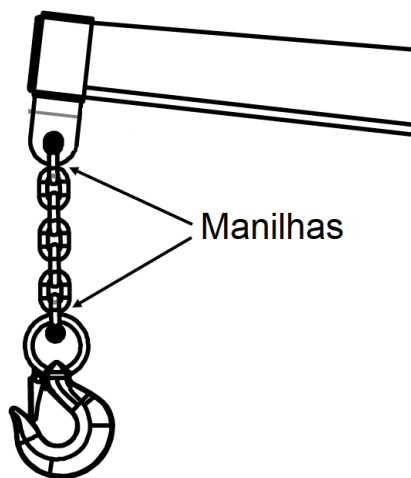
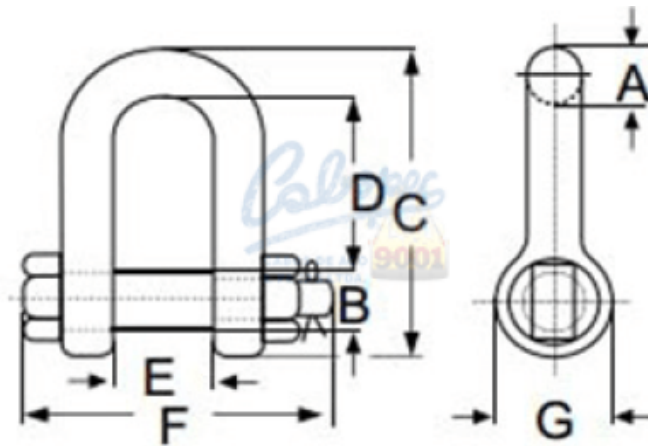


Figura 5-26: Disposição das manilhas na máquina (Autoria própria).

Para atender às solicitações da máquina selecionaram-se as manilhas com Ref. MRA-006-PPC da tabela 5.7.

A manilha selecionada tem capacidade de carga de 500 Kg sendo a capacidade máxima da máquina, entretanto, como sugere no canto esquerdo inferior da tabela 5.7 o elemento já se dispõe de um fator de segurança consistente.

Tabela 5.7: Especificações técnicas de manilha de carga (Catálogo Cabopec).



Ref	Ø do	Ø do	Dimensões (mm)							CMT	Peso
	Corpo (A)	Pino (B)	A	B	C	D	E	F	G		(kgf)
MRA-006-PPC	1/4	5/16	6	8	45	22	13	42	17	500	0,050
MRA-008-PPC	5/16	3/8	8	10	50	27	14	50	21	750	0,090
MRA-010-PPC	3/8	7/16	10	13	60	31	17	58	27	1.000	0,160
MRA-013-PPC	1/2	5/8	13	16	77	43	22	77	31	2.000	0,320
MRA-016-PPC	5/8	3/4	16	19	99	51	28	94	39	3.250	0,640
MRA-019-PPC	3/4	7/8	19	22	115	59	33	110	47	4.750	1,010
MRA-022-PPC	7/8	1	22	25	133	73	37	119	55	6.500	1,580
MRA-025-PPC	1	1 1/8	25	29	151	85	44	135	60	8.500	2,210
MRA-029-PPC	1 1/8	1 1/4	29	32	169	90	48	150	69	9.500	3,200
MRA-032-PPC	1 1/4	1 3/8	32	35	184	94	52	168	75	12.000	4,300
MRA-035-PPC	1 3/8	1 1/2	35	38	213	115	59	185	84	13.500	5,770
MRA-038-PPC	1 1/2	1 5/8	38	41	225	127	62	196	90	17.000	7,150
MRA-044-PPC	1 3/4	2	44	51	271	149	75	236	109	25.000	12,810
MRA-051-PPC	2	2 1/4	51	54	402	171	86	258	126	35.000	17,900

Fator de Segurança: 6x a carga de trabalho

6 APRESENTAÇÃO DO PROJETO

No decorrer do projeto utilizaram-se recursos e ferramentas que possibilitaram a sua execução. Plataformas como *Ftool*[®] e *Solidworks*[®] são ferramentas e dispositivos para propiciar resultados mais consistentes e seguros, auxiliando na solução de problemas de projeto. Além dessas ferramentas, a utilização de informações técnicas quanto às características de componentes específicos de catálogos também facilita e orienta a execução de projeto (BUDYNAS e NISBETT, 2016).

No quesito resistência, todos os elementos dimensionados e verificados atendem, visto que, para a utilização de um material já disponibilizado, ocorre superdimensionamento de alguns itens.

Realizaram-se renderizações em algumas vistas da máquina, a fim de verificar o *layout* da máquina pós pintura e verificação de componentes, lembrando que para atender a norma NR-12 (2019), a máquina deve ter plotada a sua capacidade máxima de carga, bem como um *checklist* para inspeção de utilização.

As renderizações podem ser observadas nas figuras 6-1, 6-2, 6-3, 6-4, 6-5 e 6-6.



Figura 6-1: Imagem renderizada em perspectiva 01 (Autoria própria).



Figura 6-2: Imagem renderizada 02 (Autoria própria).



Figura 6-3: Imagem renderizada 03 (Autoria própria).

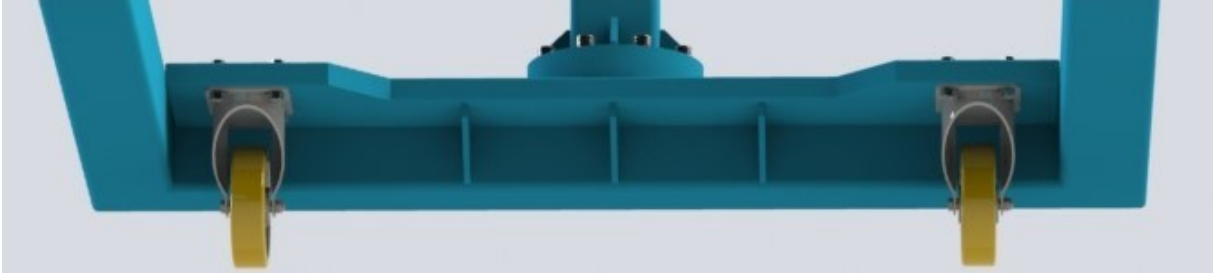


Figura 6-4: Imagem renderizada 04 (Autoria própria).

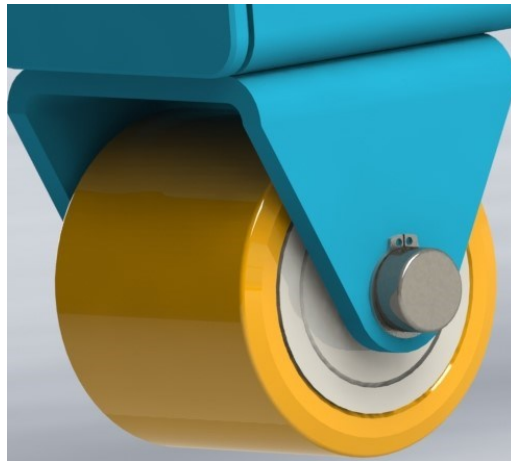


Figura 6-5: Imagem renderizada 05 (Autoria própria).



Figura 6-6: Imagem renderizada 06 (Autoria própria).

Para fins de projeto, realizou-se um desenho mecânico detalhando as principais dimensões e colocando os pontos determinantes para confecção como representa as figuras 6-7, 6-8, 6-9 e 6-10.

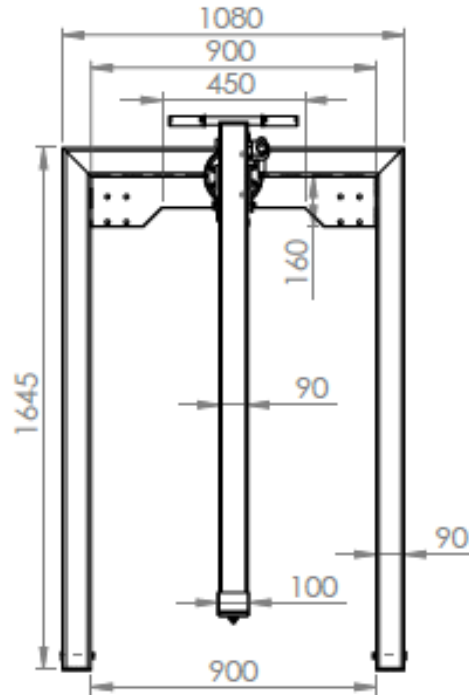


Figura 6-7: Vista Superior da máquina (Autoria própria).

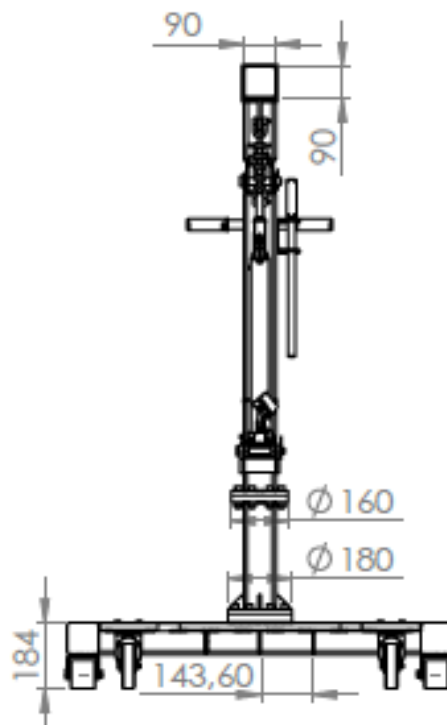


Figura 6-8: Vista frontal da máquina (Autoria própria).

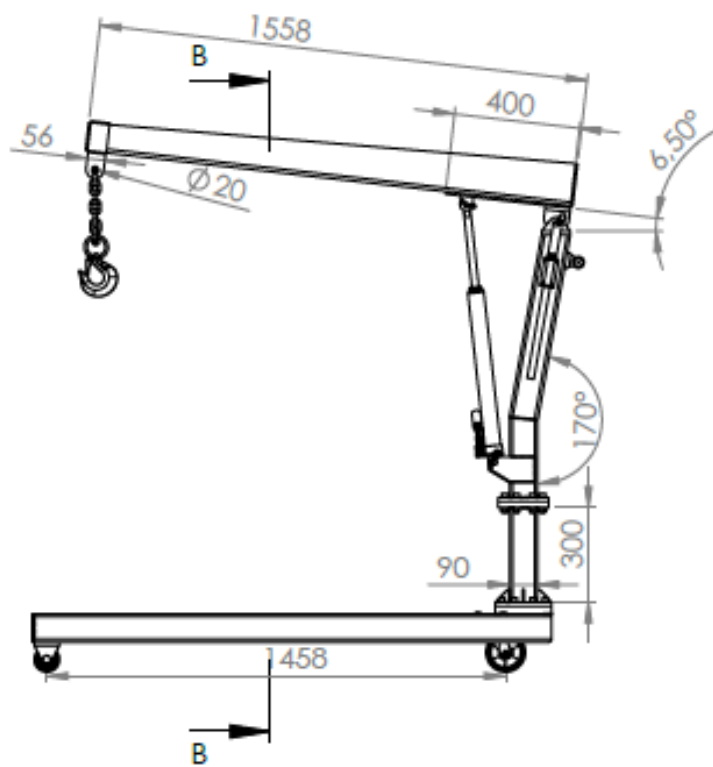


Figura 6-9: Vista lateral direita da máquina (Autoria própria).

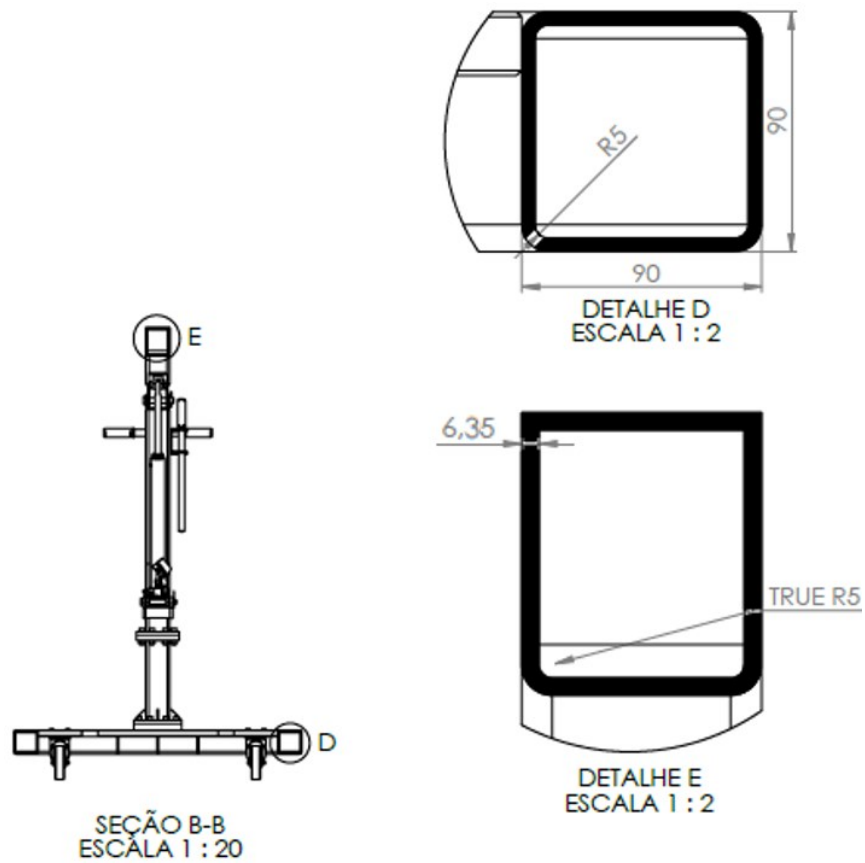


Figura 6-10: Detalhe de vista seção B-B, espessura dos perfis (Autoria própria).

Uma vista explodida da máquina também foi criada (Figura 6-11) com o intuito de facilitar o entendimento dos montadores e mantenedores.

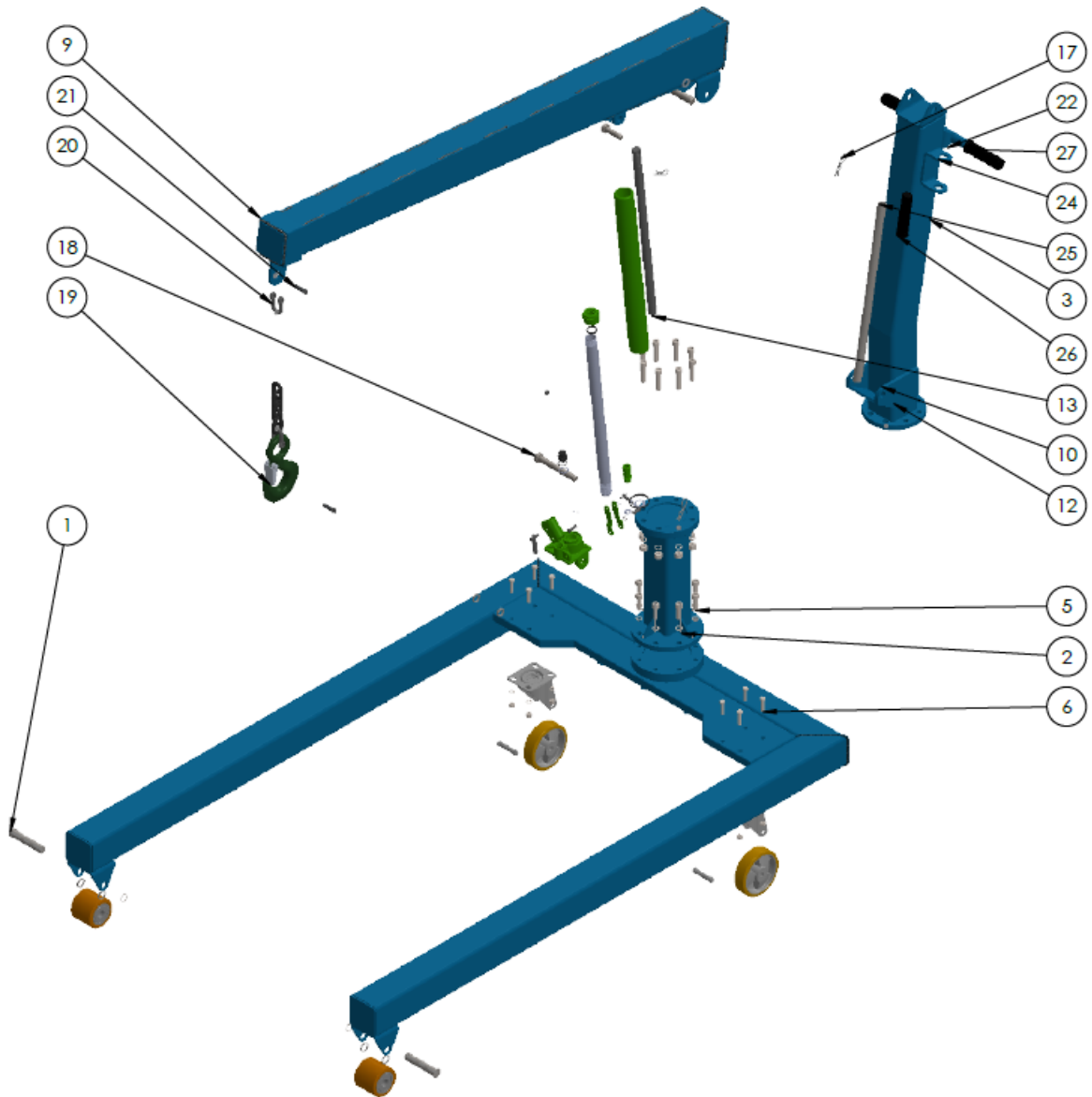


Figura 6-11: Vista explodida da máquina (Autoria própria).

7 CONCLUSÕES

Por meio do estudo de projeto mecânico para o desenvolvimento de trabalho e conclusão de curso, foi possível desenvolver o projeto detalhado de uma máquina de elevação e transporte de equipamentos que possa atender necessidade da parte interessada.

Realizou-se uma análise dos equipamentos já existentes no mercado, sendo que estes serviram de referência para desenvolver o projeto. Identificou-se nas etapas iniciais de projeto a necessidade de elaboração de uma máquina específica, tendo em vista que os materiais disponíveis para a concepção, o foco de utilização da máquina e geometria requerida foram fatores incisivos para que não fora efetuada a compra de um modelo similar que não atendesse critérios requeridos.

Nota-se que o elemento estrutural E é uma parte parafusada, possibilitando um possível estudo de modificação da máquina para torná-la mais dinâmica, fazendo com que haja possibilidade de movimentação lateral do braço de elevação, facilitando ainda mais os processos de manutenção nos equipamentos que solicitarem a sua utilização.

Conclui-se que todos os objetivos propostos foram atingidos, sendo que, com o estudo também foi possível aplicar muitos conceitos aprendidos em sala de aula auxiliando a parte interessada, em adotar concepções já existentes para içamento e movimentação de cargas, a fim de colaborar principalmente para a saúde e bem-estar das equipes diretamente ligadas a utilização da máquina.

Por fim, ressalta-se que este projeto abrange várias áreas de estudo da Engenharia Mecânica, como, resistência dos materiais, máquinas de elevação e transporte, elementos de máquina, mecânica dos sólidos, desenho técnico, dentre outras, servindo de base para estudos futuros e aperfeiçoamento das técnicas utilizadas.

Referências

- ABNT NBR 8400. **Cálculo de equipamento para levantamento e movimentação de cargas**. Rio de Janeiro - RJ: Associação Brasileira de Normas técnicas, 1984. 108 p.
- ABNT NBR 8800. **Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**. [S.l.], p. 237. 2008. (9788507009337).
- ANUÁRIO ESTATÍSTICO DA PREVIDÊNCIA SOCIAL - AEPS. Dados estatísticos - Previdência Social e INSS. **gov.br Ministério da Economia**, 2020. Disponível em: <<https://www.gov.br/previdencia/pt-br/acesso-a-informacao/dados-abertos/previdencia-social-regime-geral-inss/dados-abertos-previdencia-social>>. Acesso em: 07 Abr 2021.
- AZEVEDO, Á. F. M. Método dos Elementos Finitos. **Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto**, Porto-PT, Abril 2003. 258.
- BEER, F. P.; JOHNSTON, E. R. J.; CORNWELL, P. J. **Mecânica Vetorial para Engenheiros**. Tradução de Antônio Eustáquio de Melo Pertence. 9ª. ed. Porto Alegre: AMGH, 2012. ISBN 978-85-8055-144-0.
- BRASIL, H. V. **Máquinas de Levantamento**. Rio de Janeiro: Guanabara Dois S.A, 1985.
- BRIDGER, R. In: LIDA, I. **Ergonomia: Projeto e Produção**. Revista e Ampliada 2ª. ed. São Paulo: Blucher, 2005. p. 178-179. ISBN 85-212-0354-3.
- BUDYNAS, R. G.; NISBETT, J. K. **Elementos de Máquinas de Shigley**. Tradução de João Batista de Aguiar; José Manoel de Aguiar e José Benaque Rubert. 10ª. ed. Porto Alegre: AMGH, 2016.
- CABOPEC. Cabos de aço e peças LTDA. **Cabopec.com.br**. Disponível em: <<https://cabopec.com.br/>>. Acesso em: 06 jun. 2021.
- FIALHO, A. B. **Automação Hidráulica: Projetos, Dimensionamento e análise de circuitos**. 7ª. ed. São Paulo: Erica, 2019. 304 p. ISBN 978-85-365-3033-8.
- FORCELLINI, F. A.; BACK, N. **Projeto de Produtos. Apostila do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UFSC**. Florianópolis - SC: [s.n.], 2002.
- LIDA, I. **Ergonomia: Projeto e Produção**. Revista e Ampliada 2ª. ed. São Paulo: Blucher, 2005. 630 p.
- MARQUES, P. R. V. **A REESTRUTURAÇÃO INDUSTRIAL E A QUESTÃO AMBIENTAL**. Centro Universitário de Araraquara - UNIARA. ARARAQUARA – SP. 2005.
- MONTEIRO, I. A. C. **Movimentação Manual de Cargas**. Instituto Politécnico de Setúbal. Setúbal, p. 173. 2014.

NAVARRO, A. F. **Acidentes causados durante a movimentação de cargas.** Universidade Federal Fluminense - UFF. Niterói - RJ. 2002.

NIEMANN, G. **Elementos de Máquinas:** Cálculo, diseño y construcción. 2ª. ed. Barcelona: Labor, v. 1, 1973.

NORMA REGULAMENTADORA NR -12. **SEGURANÇA NO TRABALHO EM MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS.** [S.l.]. 2019.

NORTON, R. L. **Projeto de Máquinas.** Tradução de João Batista de Aguiar; José Manoel de Aguiar, *et al.* 2ª. ed. Porto Alegre: Bookman, 2004.

PAHL-WOSTL, C. et al. Social Learning and Water Resources Management. **Ecology and Society**, 28 Dezembro 2007. Disponível em: <<http://www.ecologyandsociety.org/vol12/iss2/art5/>>. Acesso em: 21 Maio 2021.

PASSOS, L. C. **Apostila:** Técnicas de instalação, operação, manutenção, testes e inspeção: Pontes rolantes, guindastes giratórios e acessórios de movimentação de cargas. [S.l.]: Make Engenharia, Acessoria e Desenvolvimento, 2011.

REIS, A. V. D.; FORCELLINI, F. A. **Análise da Precisão Funcional da Semeadora.** Santa Cruz do Sul - RS: Tecno-Lógica, v. 6, 2003. 90-104 p.

RUDENKO, N. **Máquinas de Elevação e Transporte.** Tradução de João Plaza. Rio de Janeiro: S.A, 1976.

XAVIER, C. M. D. S. **Gerenciamento de Projetos:** Como definir e controlar escopo do projeto. 2ª. ed. São Paulo: Saraiva, 2009. ISBN 9788502111981.