



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE ENGENHARIA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA



ESTÁGIO PROFISSIONAL

Tema: Projecção de uma garra mecânica para movimentação, içamento e manuseio de carga na African LME

Discente:

PEDRO, Nélio Fernandes Januário

Supervisor da UEM:

Eng.º. Arsénio Maringule

Supervisor da African LME:

Eng.º. Narciso Piramanga

Maputo, Julho de 2022



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE ENGENHARIA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA



ESTÁGIO PROFISSIONAL

**Tema: Projecção de uma garra mecânica para movimentação,
içamento e manuseio de carga na African LME**

Discente:

PEDRO, Nélio Fernandes Januário

Supervisor da UEM:

Eng^o. Arsénio Maringule

Supervisor da African LME:

Eng^o. Narciso Piramanga

Maputo, Julho de 2022



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE ENGENHARIA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA



ESTÁGIO PROFISSIONAL

Tema: Projecção de uma garra mecânica para movimentação, içamento e manuseio de carga na African LME

Eu, Nélio Fernandes Januário Pedro, estudante do 5º nível do curso de Engenharia Mecânica da faculdade de engenharia da Universidade Eduardo Mondlane, submeto este trabalho como requisito para a aquisição do grau de Licenciado em Engenharia Mecânica.

Aprovado por:

Eng.º Arsénio Maringule, Supervisor da UEM

Eng.º Narciso Piramanga, Supervisor da African LME

Membro de Júri 1

Membro de Júri 2

Membro de Júri 3

Maputo, Julho de 2022

Dedicatória

Dedico este trabalho a todos aqueles que sempre apoiaram-me e acreditaram no meu potencial durante toda carreira académica assim como na vida social.

Agradecimentos

Em primeiro lugar agradeço a Deus por guiar e acompanhar me durante todo o meu percurso académico e social, dando-me saúde, força e coragem face às adversidades que tenho enfrentado.

Agradeço também aos Professores do Departamento de Engenharia Mecânica em particular ao Eng.º Arsénio Maringule por terem-me aconselhado, apoiado e orientado durante a execução deste trabalho.

Agradeço ao Senhor Isidro Fernando (Director operacional da African Lifting Machinery Entity) por ter-me ajudado a conseguir o estágio, agradeço ao Eng.º Narciso Piramanga por ter-me apoiado e orientado durante a execução deste trabalho e a toda a equipa da African Lifting Machinery Entity por terem-me recebido de braços abertos, apoiado moralmente e por terem-me incluído nas actividades.

Expresso aqui um especial agradecimento aos meus pais por terem cuidado de mim ao longo da minha vida e aos meus irmãos, amigos e familiares que têm apoiado-me de forma directa e indirecta durante a execução deste trabalho.

Resumo

O presente relatório visa projectar uma garra mecânica para movimentação, içamento e manuseio de carga denominada especificamente de “massa” de forma a melhorar a qualidade dos testes de carga nas pontes rolantes realizados pela empresa **African Lifting Machinery Entity** (African LME) aos seus clientes.

Pontes Rolantes são equipamentos utilizados no transporte e elevação de cargas, geralmente com altas capacidades e elevados ciclos de trabalho. Trata-se de uma estrutura, normalmente instalada dentro das fábricas, sendo possível movimentar cargas, materiais, equipamentos entre outros, nas direções longitudinal, transversal e vertical. A utilização desses equipamentos diminui o esforço humano no manuseio dos materiais e proporciona agilidade e segurança nos processos que envolvem carregamento e descarregamento de grandes cargas.

Massa é uma carga maciça feita de aço ou betão revestido de chapa de aço, com forma e geometria definida e tem pontos específicos de ancoragem ou carregamento.

O ganho de tempo, a segurança proporcionada aos trabalhadores e a facilidade no manuseio e transporte desses materiais fazem com que a ponte rolante seja um equipamento indispensável em fábricas ou indústrias de diversas áreas de actuação.

Dentre as várias actividades realizadas pela empresa, o presente trabalho irá centrar-se apenas no teste de carga de pontes rolantes. O dispositivo a ser projectado terá sua aplicação em todas empresas nas quais a **African LME** presta serviços e que tenham equipamentos compatíveis com a capacidade do dispositivo bem como o tipo de massa a utilizar no momento do teste de carga.

Palavras-chave: Projectar; inspecção; garra mecânica; ponte rolante; massas.

Abstract

This report aims to design a mechanical block grab for moving, lifting and handling of steel weights used in load test of overhead cranes of African LME's clients to improve the quality of load test in this company.

Overhead crane is a type of heavy duty machinery that is capable of moving extremely heavy loads and equipment from one location to another in safe and precise manner using the overhead space of a manufacturing facility.

The load test of overhead cranes is made using the following main equipments: Bow shackles, Slings and weights.

The load test is conducted to cover the following: • to verify the configurations of a lifting appliance such as the amount of deflection or degree of inclination of a mast or a span of a lifting appliance; • to check the functions of the hoisting, slewing and travelling mechanisms of a lifting appliance, with particular attention to the performance and efficiency of the braking system for each of these motions.

Keywords: Design; inspection; mechanical grab; overhead crane; weights.

Índice

Dedicatória.....	I
Agradecimentos	II
Resumo	III
Abstract.....	IV
Lista de Símbolos.....	VII
Lista de Figuras.....	IX
Lista de tabelas.....	X
CAPÍTULO I	1
1 Introdução	1
1.1 Objectivos	2
1.1.1 Objectivo Geral.....	2
1.1.2 Objectivos Específicos.....	2
1.2 Metodologia	2
1.3 Formulação do problema	3
1.4 Justificativa	3
CAPÍTULO II	4
2.1 Apresentação da Empresa	4
2.1.1 Localização	4
2.1.2 Visão	4
2.1.3 Organização funcional da African LME.....	5
2.1.4 Principais actividades desempenhadas pela empresa	6
2.2 Finalidade de realização de inspecção e teste de carga.....	7
CAPÍTULO III.....	7
3 Revisão Bibliográfica.....	7
3.1 Componentes principais da ponte rolante	7
3.1.1 Viga principal.....	8
3.1.2 Cabeceiras	9
3.1.3 Caminho de rolamento.....	9
3.1.4 Carro	9
3.1.5 Talha	9
3.1.6 Rodas.....	10

3.2 Procedimentos de teste de carga para pontes rolantes	11
3.3 Outros acessórios de içamento.....	13
3.3.1 Viga de elevação (Lifting beam).....	13
3.3.3.1 Tensão de flexão na viga de elevação.....	14
3.3.1.2 Vantagens das vigas de elevação	14
3.3.1.3 Desvantagens das vigas de elevação.....	15
3.3.2 Viga Espalhadora (Spreader beam)	15
3.3.2.1 Tensão de compressão na viga espalhadora.....	15
3.3.2.2 Vantagens das vigas espalhadoras	16
3.3.2.3 Desvantagens das vigas espalhadoras.....	16
3.3.3 Aplicabilidade das vigas de elevação e vigas espalhadoras no teste de carga.....	16
CAPÍTULO IV.....	17
4 Apresentação da carga a elevar (massas).....	17
CAPÍTULO V.....	18
5 Projecção da Garra Mecânica	18
5.1 Características técnicas da Garra Mecânica.....	18
5.2 Esboço da Garra Mecânica e seus componentes principais.....	20
5.3 Funcionamento do Mecanismo	25
5.4 Determinação da massa da Garra Mecânica	27
5.5 Dimensionamento da Garra Mecânica.....	28
5.5.1 Forças actuantes na Garra	33
5.5.2 Dimensionamento da barra de suporte.....	34
5.5.2.1 Dimensionamento do olhal de içamento.....	36
5.5.2.2 Soldadura do olhal de içamento	37
5.5.3 Dimensionamento da Alavanca	38
5.5.4 Dimensionamento do eixo da garra	41
5.5.5 Dimensionamento do pino da garra	42
5.6 Resultado do Dimensionamento	43
5.7 Desenho da Garra Mecânica e seus principais componentes.....	43
CAPÍTULO VI.....	44
6.2 Conclusões	50
Referências bibliográficas.....	51

Lista de Símbolos

Símbolo	Descrição	Unidade
A	Área da secção transversal	$[mm^2]$
b	Espessura da secção transversal	$[mm]$
cs	coeficiente de segurança	
d	Diâmetro do eixo	$[mm]$
F_{Ax}	Força actuante no ponto A no eixo x	$[N]$
F_{Ay}	Força actuante no ponto A no eixo y	$[N]$
F_{Bx}	Força actuante no ponto B no eixo x	$[N]$
F_{Cx}	Força actuante no ponto C no eixo x	$[N]$
F_{Cy}	Força actuante no ponto C no eixo y	$[N]$
F_{CR}	Força resultante no ponto C	$[N]$
F_E	Força do equipamento	$[N]$
F_I	Força de içamento	$[N]$
F_M	Força da massa	$[N]$
F_W	Força no centro de gravidade do dispositivo	$[N]$
I_z	Momento de inercia da área da secção transversal	$[mm^4]$
IR	Índice de rentabilidade	$[MZN]$
K_t	Factor de concentração de tensões	
m	Massa parcial	$[Kg]$
M_g	Massa geral do equipamento	$[Kg]$
M_x	Coeficiente de majoração	
M_B	Somatório dos momentos no ponto B	$[N. mm]$
M_S	Momento máximo na barra	$[N. mm]$
n	Quantidade de cada componente	

P	Fracção mínima da carga máxima	
V	Volume de cada componente da garra	$[m^3]$
VA	Valor actual	$[MZN]$
VAL	Valor actual líquido	$[MZN]$
V_L	Velocidade de elevação	$[m/s]$
t	Largura da região de contacto	$[mm]$
$[\sigma]$	Tensão admissível	$[MPa]$
σ_{esm}	Tensão de esmagamento	$[MPa]$
σ_e	Tensão de escoamento	$[MPa]$
σ_{max}	Tensão de máxima	$[MPa]$
$[\tau]$	Tensão admissível de cisalhamento	$[MPa]$
τ_{med}	Tensão média de cisalhamento	$[MPa]$
τ	Tensão de cisalhamento	$[MPa]$
Ψ	Coefficiente dinâmico	
ρ	Massa específica do material	$[Kg/m^3]$

Lista de Figuras

Figura 1 - Logotipo da Empresa [Fonte African LME,2021]	4
Figura 2 - Organograma da Empresa [Fonte African LME,2021]	5
Figura 3 - Representação dos principais componentes de uma ponte rolante [Fonte Modelagem paramétrica de pórticos rolantes,2005]	8
Figura 4 - Gancho para ponte rolante [Fonte Modelagem paramétrica de pórticos rolantes,2005]	10
Figura 5 - Roda com aba para ponte rolante [Fonte Modelagem paramétrica de pórticos rolantes,2005]	10
Figura 6 - Ilustração de uma manilha [Fonte Catálogo Equipamentos e acessórios de elevação,2018]	11
Figura 7 - Ilustração de uma cinta sintética [Fonte Catálogo Equipamentos e acessórios de elevação,2018]	11
Figura 8 - Ilustração do içamento e ancoragem da carga [Fonte African LME,2021]	12
Figura 9 - Ilustração da elevação da carga [Fonte African LME,2021]	12
Figura 10 - Ilustração de uma viga de elevação [Fonte Catálogo Equipamentos e acessórios de elevação,2018]	14
Figura 11 - Ilustração das tensões de flexão que actuam na viga [Fonte Catálogo Equipamentos e acessórios de elevação,2018]	14
Figura 12 - Ilustração de uma viga espalhadora [Fonte Catálogo Equipamentos e acessórios de elevação,2018]	15
Figura 13 - Ilustração das tensões de compressão que actuam na viga [Fonte Catálogo Equipamentos e acessórios de elevação,2018]	16
Figura 14 - Ilustração das massas [Fonte African LME,2021]	17
Figura 15 - Fluxograma da projecção [Fonte do Autor,2022]	18
Figura 16 - Ilustração dos componentes principais da garra [Fonte do autor,2022]	21
Figura 17 - Ilustração da Barra de Suporte [Fonte do autor,2022]	21
Figura 18 - Ilustração da Alavanca [Fonte do autor,2022]	22
Figura 19 - Ilustração do Conjunto T Superior [Fonte do autor,2022]	22
Figura 20 - Ilustração do Conjunto T Inferior [Fonte do autor,2022]	23
Figura 21 - Ilustração do Conjunto garra [Fonte do autor,2022]	23
Figura 22 - Ilustração do Parafuso ajustador [Fonte do autor,2022]	24
Figura 23 - Ilustração da Barra de Resistência [Fonte do autor,2022]	24
Figura 24 - Ilustração do Parafuso prisioneiro [Fonte do autor,2022]	25
Figura 25 - Mobilidades do mecanismo [Fonte do autor,2022]	26
Figura 26 - Ilustração do adaptador para garfo de empilhadeira [Fonte Catálogo Equipamentos e acessórios de elevação,2018]	26
Figura 27 - Ilustração das forças actuantes na garra [Fonte do autor,2022]	33
Figura 28 - Ilustração das forças que actuam na barra de suporte e a sua respectiva secção [Fonte do autor,2022]	35
Figura 29 - Esforços internos na barra de suporte [Fonte do autor,2022]	35
Figura 30 - Forças que actuam na alavanca [Fonte do autor,2022]	39

Figura 31 - Ilustração das forças que causam momento de flexão no ponto B [Fonte do autor,2022]	40
Figura 32 - Ilustração das forças concorrentes no ponto C [Fonte do autor,2022].....	41

Lista de tabelas

Tabela 1 - Composição química do aço LNE 380.	19
Tabela 2 - Propriedades mecânicas médias do aço LNE 380.	19
Tabela 3 - Componentes principais da garra.....	20
Tabela 4 - Classes de utilização NBR 8400.....	29
Tabela 5 - Estados de carga	29
Tabela 6 - Estado de tensões de um elemento.	30
Tabela 7 - Classificação da estrutura dos equipamentos em grupos.....	30
Tabela 8 - Valores do coeficiente dinâmico.	31
Tabela 9 - Coeficiente de majoração para equipamentos industriais.....	32
Tabela 10 - Tensões admissíveis à tração (ou compressão) simples.	33
Tabela 11 - Resultados do dimensionamento.	43
Tabela 12 - Custo de implementação do projecto.....	45
Tabela 13 - Comparação dos dois processos.	46
Tabela 14 - Fluxo de caixa, Valor actual e Valor actual líquido.	48
Tabela 15 - Critérios de avaliação económica.	49

CAPÍTULO I

1 Introdução

O crescimento industrial no país é um dos principais factores indispensáveis para se atingir o nível de desenvolvimento socioeconómico necessário para redução do desemprego e a erradicação da pobreza absoluta. Essa industrialização é acompanhada pelo surgimento de empresas especializadas na manutenção que garantem a funcionalidade e longevidade de equipamentos.

Como solicitado e analisado, este projecto tende a ser um auxílio nesta operação, afim de solucionar esta dificuldade de movimentação, eliminando riscos ergonômicos no levantamento de cargas e melhorar a qualidade desta movimentação.

Este trabalho visa projectar uma garra mecânica para movimentação, içamento e manuseio de carga com vista a melhorar a qualidade dos testes de carga nas pontes rolantes. O presente trabalho está dividido em 6 capítulos.

No capítulo 1 é apresentada a introdução, os objectivos, a justificativa do projecto e a metodologia usada.

O capítulo 2 compreende a apresentação da empresa.

O capítulo 3 compreende a revisão bibliográfica sobre a ponte rolante, a sua constituição, o procedimento de teste de carga. Faz-se também a revisão sobre outros acessórios de elevação.

O capítulo 4 compreende a apresentação do tipo de carga a elevar.

O capítulo 5 compreende a projecção da garra mecânica.

O capítulo 6 apresenta avaliação económica do projecto, conclusões do trabalho e recomendações.

1.1 Objectivos

1.1.1 Objectivo Geral

- Consolidar os conhecimentos teóricos e práticos adquiridos durante a formação na faculdade sobre o dimensionamento de máquinas.

1.1.2 Objectivos Específicos

- Projectar um a garra mecânica para movimentação, içamento e manuseio de carga para melhorar de forma eficiente a qualidade de testes de carga nas pontes rolantes;
- Avaliar a viabilidade econômica do projecto.

1.2 Metodologia

A elaboração do presente trabalho foi baseada na:

- Colecta de informações e conhecimentos técnico-científico, adquiridos através do intercâmbio entre o Estudante e Técnicos, Operadores dos equipamentos na experiência adquirida ao logo do estágio;
- Sessões de consulta com o supervisor da faculdade, do supervisor do estágio e com alguns trabalhadores da African LME;
- Pesquisas individuais nos manuais da empresa e a consultas na internet.

1.3 Formulação do problema

- Morosidade e insegurança na movimentação, içamento e manuseio de carga durante o teste de carga em pontes rolantes.

1.4 Justificativa

O presente trabalho visa suprir a necessidade de uma empresa que dedica-se a prestação de serviços de inspeção e certificação de equipamentos industriais, obedecendo os padrões de segurança, comodidade e fiabilidade. A mesma está em actuação no mercado nacional.

Actualmente a empresa dispõe e utiliza massas, manilhas e cintas sintéticas para auxiliar o processo de movimentação, içamento e manuseio de carga. Porém, as cintas sintéticas para o efeito de teste apresentam menor segurança de serviço, morosidade no trabalho e geram a instabilidade de carga. Como consequências, podem-se gerar acidentes de trabalho bem como atrasos na realização do teste de carga. A Projeção de um dispositivo para movimentação, içamento e manuseio de carga para o uso nas pontes rolantes visa buscar um ganho de produtividade e também uma maior segurança no ambiente de trabalho.

CAPÍTULO II

2.1 Apresentação da Empresa



Figura 1 - Logotipo da Empresa [Fonte African LME,2021]

African Lifting Machinery Entity (African LME) é uma empresa Moçambicana registada em 2015 que presta serviços de **inspecções estatuárias e certificação** de máquinas e equipamentos de elevação para diferentes empresas tais como: Mozal, Cervejas de Moçambique, Cimentos de Moçambique, Limak, Protecna, Coca-cola, Duys, Outotec, Kenmare, Matola cargo, Sasol, Mecwide, Escopil indústria, Transcrane, e mais empresas. As inspecções estatuárias tem uma duração que varia de **3 meses à 1 ano**, obedecendo um padrão definido e dependendo do equipamento ou máquina.

2.1.1 Localização

A AFRICAN LME, encontra-se localizada na cidade da Matola, Província de Maputo na rua número 12.026, quarteirão 571 e está a operar à 6 anos.

2.1.2 Visão

Ser a melhor opção no grupo de empresas de certificação e inspecções estatuárias no ramo industrial, com melhores tempos e custos do mercado, comprometidos com a qualidade em um processo de melhoria contínua sem pôr em causa a segurança e o meio ambiente.

2.1.3 Organização funcional da African LME

O organograma abaixo explica a estrutura funcional da African LME.

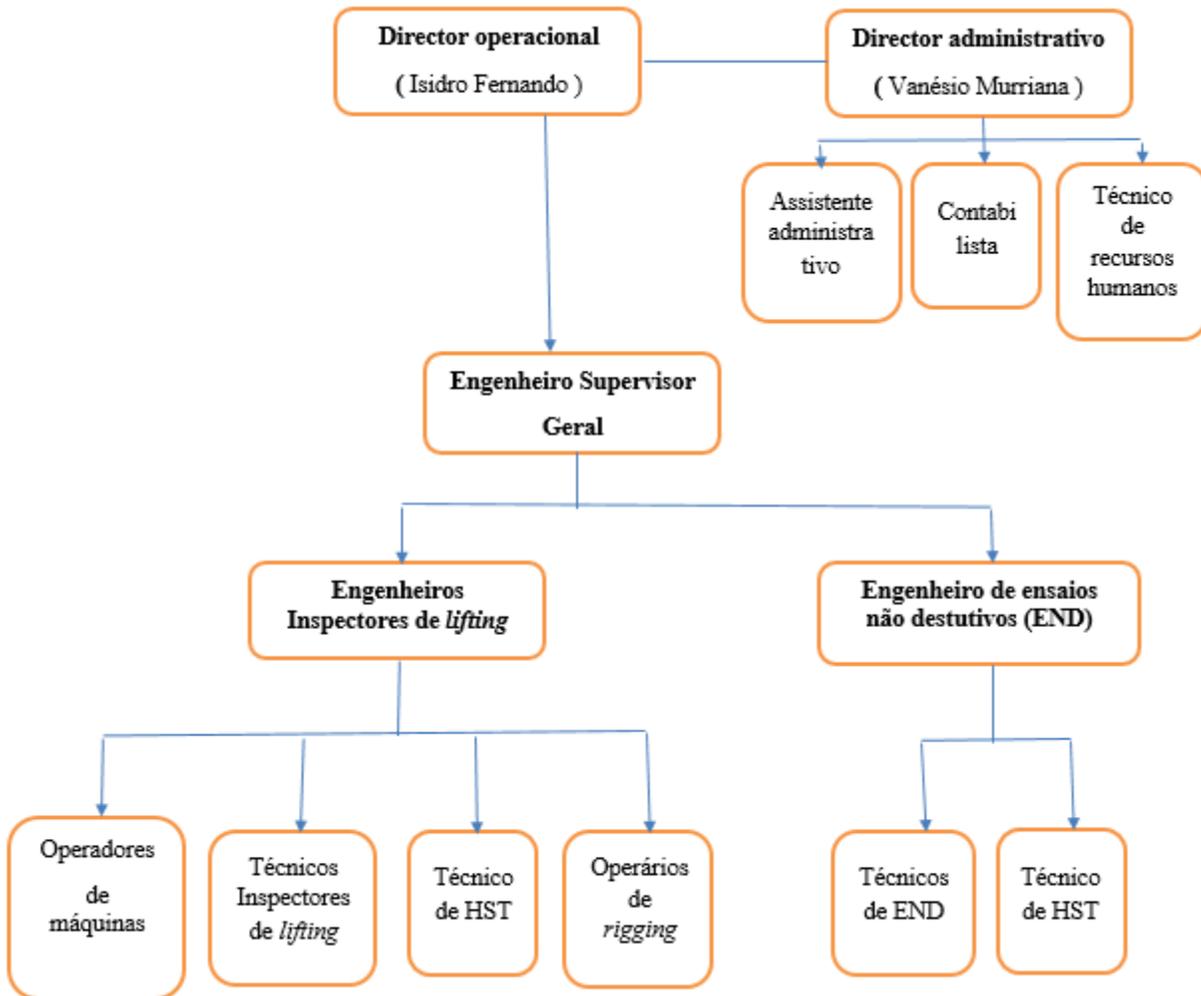


Figura 2 - Organograma da Empresa [Fonte African LME,2021]

O **Director Operacional** (Isidro Fernando) - dirige, planeia, organiza e controla as actividades a serem realizadas a nível industrial.

O **Director Administrativo** (Vanésio Murriana) - dirige, planeia, organiza e controla as actividades da empresa, fixando políticas de gestão dos recursos financeiros, administrativos, estruturação, racionalização e adequação dos serviços diversos. Desenvolve planeamento

estratégico, identifica oportunidades, avalia a viabilidade e faz recomendações sobre novos investimentos ou desenvolvimento de novos negócios.

O **Engenheiro Supervisor geral** - supervisiona colaboradores, faz a leitura, execução e acompanhamento dos projectos, controla todos os equipamentos utilizados nas inspecções e reporta ao Director operacional todas as actividades realizadas.

Os **Engenheiros Inspectores de *lifting*** – supervisionam e coordenam as actividades nas plantas, controlando e dirigindo as inspecções estatutárias e testes de carga em diferentes máquinas e equipamentos de elevação, realizam também relatórios diários de campo.

O **Engenheiro de ensaios não destrutivos** – supervisiona e coordena as actividades nas plantas, controlando e dirigindo os ensaios não destrutivos em diferentes estruturas metálicas, realiza também relatórios diários de campo.

Os **técnicos de HST** - identificam as possibilidades de ocorrência de acidentes e analisa meios de preveni-los, implementa programas de treinamento de segurança, orienta e fiscaliza o uso dos equipamentos de proteção individual (EPIs) e dos equipamentos de proteção coletiva (EPCs). Também tratam da documentação de acesso às plantas e participam com o cliente nas reuniões de melhoramento de segurança.

2.1.4 Principais actividades desempenhadas pela empresa

A seguir estão listadas as actividades realizadas pela empresa e suas respectivas aplicações:

- Inspeção visual e funcional – para equipamentos tais como: manilhas, cintas de carga, linhas de vida, macacos hidráulicos, correntes de carga, e outros;
- Inspeção visual, funcional e teste de carga – para máquinas tais como: pontes rolantes, guinchos, camiões grua, plataformas elevatórias, empilhadeiras, entre outras;
- Ensaios Magnéticos e Ultrasónicos – para tanques ou reservatórios de diferentes fluidos, estruturas metálicas e tubos metálicos;
- Testes de pressão – para tanques ou reservatórios de diferentes fluidos;
- Serviços de *rigging*.

African LME é uma empresa afiliada e acreditada por organizações internacionais tais como South African Lifting Equipment Engineering Association (LEESA), South African Non-Destructive Testing Institute (SAINT) e Engineering Council of South Africa (ECSA).

2.2 Finalidade de realização de inspeção e teste de carga

O objetivo da **inspeção e teste de carga** é garantir que todos os componentes estruturais, mecânicos e elétricos do equipamento estejam em condições seguras e utilizáveis e que estejam funcionando adequadamente de acordo com as especificações do fabricante.

CAPÍTULO III

3 Revisão Bibliográfica

Neste capítulo é apresentada a fundamentação teórica necessária para a compreensão dos aspectos que serão abordados ao longo do presente trabalho.

O teste de carga e a inspeção de pontes rolantes são exigidos por muitos regulamentos de segurança, padrões de consenso nacional e fabricantes. O objetivo do teste de carga é garantir, por meio da sobrecarga real, que o equipamento seja capaz de levantar e mover com segurança a carga nominal em todos os movimentos projectados. A inspeção e o teste de carga não levam em consideração o factor de trabalho do equipamento, isto é, a duração do período de inspeção não varia consoante os ciclos de trabalho da ponte rolante.

3.1 Componentes principais da ponte rolante

As pontes rolantes são compostas por vários componentes onde cada qual desempenha uma função única e específica, basicamente são eles: viga principal, cabeceira, caminho de rolamento, carro, talha e rodas. A Figura 3 representa a disposição desses componentes. As principais características construtivas destes componentes são descritas subseqüentemente.

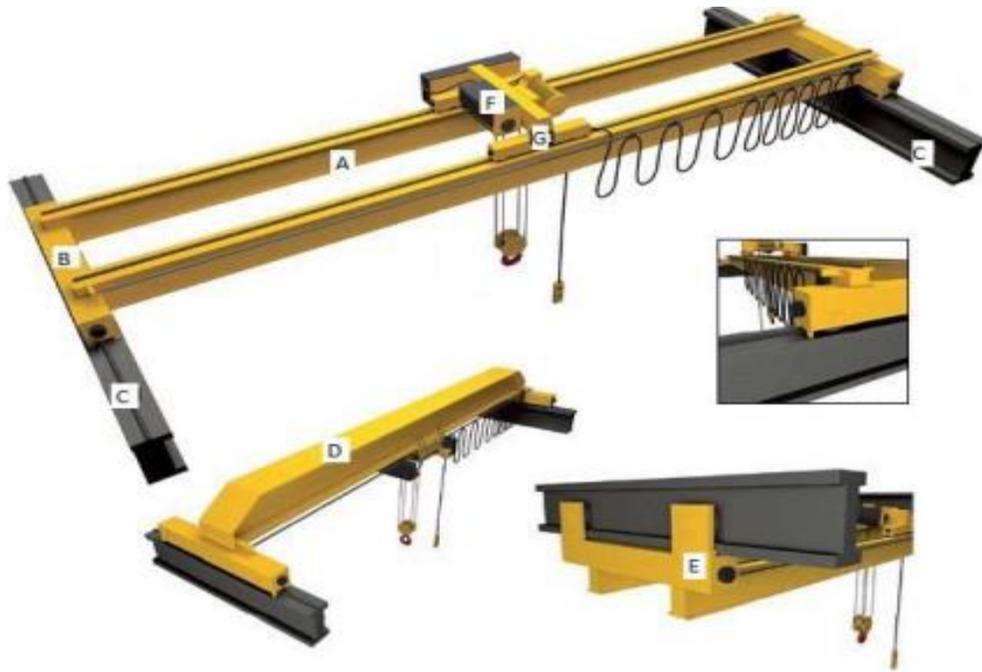


Figura 3 - Representação dos principais componentes de uma ponte rolante [Fonte Modelagem paramétrica de pórticos rolantes,2005]

Legenda dos componentes principais da ponte rolante:

- A - Viga principal
- B - Cabeceira
- C - Caminho de rolamento
- D - Viga principal
- E - Cabeceira
- F - Carro
- G - Mecanismo de elevação

3.1.1 Viga principal

É a estrutura principal da ponte, onde se realiza o movimento de translação do carro, percorrendo todo o vão de trabalho. A viga é a estrutura onde se concentra a maior solicitação de carga, pois é nela que o carro trolley está fixado. Usualmente construída de viga de perfil “I” ou

confeccionada a partir de chapas soldadas formando uma caixa. Na Figura 3 a viga é representada por “A” e “D”.

3.1.2 Cabeceiras

As cabeceiras (Figura 3 item “B”) estão localizadas nas extremidades da ponte, onde a viga principal esta fixada. Nas cabeceiras estão as rodas e o sistema de acionamento para realizar o movimento de translação da ponte rolante. As rodas se movem sobre os trilhos que compõem o caminho de rolamento da ponte.

3.1.3 Caminho de rolamento

Caminho de rolamento (Figura 3 item “C”) é a base por onde a ponte irá se movimentar. É através do caminho de rolamento que as cabeceiras se deslocam. Esse caminho possui diversas formas construtivas podendo ser fabricado de vigas, conforme pode ser visualizado no detalhe “E” da Figura 3, ou concreto e trilho. No caso de pontes rolantes esse caminho fica apoiado nos pilares.

3.1.4 Carro

Também chamado de Carro Trolley (Figura 3 item “F”). Este componente se movimenta sobre a viga principal, ou vigas no caso de uma ponte rolante biviga. No carro estão contidos o os mecanismos de elevação da carga ou a talha, item “G” da Figura 3. Desta forma, o carro é responsável pelo movimento transversal e vertical da ponte rolante.

3.1.5 Talha

Este dispositivo é acoplado ao carro da ponte rolante sendo responsável por elevar a carga. É constituído basicamente por uma estrutura de fixação, um motor elétrico com sistema de freio, um tambor para recolher o cabo de aço e o cabo de aço. Usualmente utiliza-se um gancho (Figura 4) na extremidade do cabo de aço para facilitar a fixação da carga.



Figura 4 - Gancho para ponte rolante [Fonte Modelagem paramétrica de pórticos rolantes,2005]

3.1.6 Rodas

As rodas de uma ponte rolante são fabricadas geralmente em aço doce e com o formato do trilho que irão se deslocar. Possuem uma aba lateral que impede a ponte rolante de sair do caminho de rolamento, conforme representado pela Figura 5.



Figura 5 - Roda com aba para ponte rolante [Fonte Modelagem paramétrica de pórticos rolantes,2005]

3.2 Procedimentos de teste de carga para pontes rolantes

3.2.1 No início do teste de carga, o carro trolley é posicionado no centro geométrico da ponte rolante, de seguida mede se a deflexão das vigas principais e das vigas da pista no vão central por meio de um medidor de distância à laser.

3.2.2 Posicionam se as massas de acordo com a carga segura de trabalho da ponte, com ajuda de empilhadeiras, manilhas e cintas.



Figura 6 - Ilustração de uma manilha [Fonte Catálogo Equipamentos e acessórios de elevação,2018]



Figura 7 - Ilustração de uma cinta sintética [Fonte Catálogo Equipamentos e acessórios de elevação,2018]

3.2.3 Faz se o içamento e ancoragem da carga no gancho da ponte rolante com recurso a manilhas e cintas sintéticas.



Figura 8 - Ilustração do içamento e ancoragem da carga [Fonte African LME,2021]

3.2.4 Ao manusear a carga de prova, deve se operar a ponte rolante em velocidades adequadas para a operação segura e controle da carga.

3.2.5 Eleva se a carga nominal a uma altura suficiente para garantir que cada dente do trem do mecanismo de elevação esteja sujeito à carga nominal.



Figura 9 - Ilustração da elevação da carga [Fonte African LME,2021]

3.2.6 Atravessa se a ponte até o meio de cada viga da pista e mede se a deflexão. Percorre se o carrinho com carga nominal até o vão médio da ponte e mede se a deflexão. Compara se esses valores com as especificações apropriadas para a ponte rolante

3.2.7 Eleva se a carga nominal aproximadamente cinco (5) pés acima do solo. Com o controlador da talha na posição neutra, libere (com a mão) o freio de retenção. O dispositivo de controle de carga deve controlar a carga.

3.2.8 Com o freio de retenção na posição liberada, começa se a baixar a carga lentamente e, em seguida, retorna se o controlador para a posição desligada quando a carga de teste estiver baixando. O dispositivo de controle de carga deve evitar que a carga acelere.

3.2.9 Para testar a reação da unidade de içamento no caso de falha de energia durante um içamento, içar a carga nominal a uma distância conveniente acima da superfície. Abaixar a carga em alta velocidade e, com o controlador na posição de abaixamento, desconecta se a fonte de alimentação principal. A carga de teste deve parar de diminuir quando a energia for desconectada.

3.2.10 Aumenta se a carga de teste para 125% da carga nominal para atingir a carga de prova.

3.2.10 Verifica se a pista quanto a danos estruturais ou distorção, fixadores soltos ou danificados, alinhamento da pista e fixação segura ao suporte estrutural.

3.3 Outros acessórios de içamento

Existem vários equipamentos auxiliares utilizados para elevação de carga dentre os quais vai abordar se a viga de elevação e viga espalhadora.

3.3.1 Viga de elevação (Lifting beam)

Uma viga de elevação tem pontos de fixação centrais na parte superior da viga para fixação a um guindaste ou outro aparelho de içamento e suporta uma carga através de dois ou mais pontos de conexão na base da viga. Se a carga colocar predominantemente uma tensão de flexão na viga, ela é definida como uma viga de elevação.



Figura 10 - Ilustração de uma viga de elevação [Fonte Catálogo Equipamentos e acessórios de elevação,2018]

3.3.3.1 Tensão de flexão na viga de elevação

As vigas de elevação suportam a tensão de flexão à medida que a força sobe das eslingas inferiores, ao longo da viga até os pontos de fixação central e no gancho do guindaste através da cinta superior, conforme mostrado na Figura 10.

Nas extremidades da viga é onde a tensão é maior. A Figura 11 mostra a tensão aplicada aos pontos centrais de fixação.

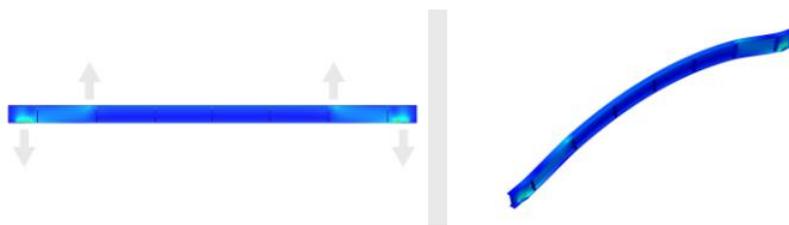


Figura 11 - Ilustração das tensões de flexão que actuam na viga [Fonte Catálogo Equipamentos e acessórios de elevação,2018]

3.3.1.2 Vantagens das vigas de elevação

- As vigas de içamento requerem menos altura livre (distância entre o gancho do guindaste e os pontos de içamento da viga).

- Vários pontos de içamento garantem que possam ser usados para diferentes tipos de cargas e aplicações.
- A durabilidade os torna ideais para o transporte de cargas fracas ou flexíveis, tais como: comprimentos de vergalhões.

3.3.1.3 Desvantagens das vigas de elevação

- As Vigas Elevatórias usam mais material, geralmente são mais pesadas e, portanto, são mais caras de fabricar do que as Vigas Espalhadoras.
- Linhas guia podem ser necessárias para vigas longas ou cargas irregulares para manter o controle e reduzir a possibilidade de girar.

3.3.2 Viga Espalhadora (Spreader beam)

Uma viga espalhadora é uma longa barra que mantém duas cintas separadas, distribuindo o peso de uma carga uniformemente sobre dois ou mais pontos de fixação. Se a carga colocar predominantemente uma tensão de compressão na viga, ela é definida como uma viga Espalhadora.



Figura 12 - Ilustração de uma viga espalhadora [Fonte Catálogo Equipamentos e acessórios de elevação,2018]

3.3.2.1 Tensão de compressão na viga espalhadora

As vigas espalhadora suportam o tensão de compressão, pois a força ainda sobe das cintas inferiores.

No entanto, assim que atinge a viga, a força percorre as eslingas superiores até o gancho do guindaste, eliminando qualquer tensão de flexão na viga da carga, conforme ilustrado na Figura 13.

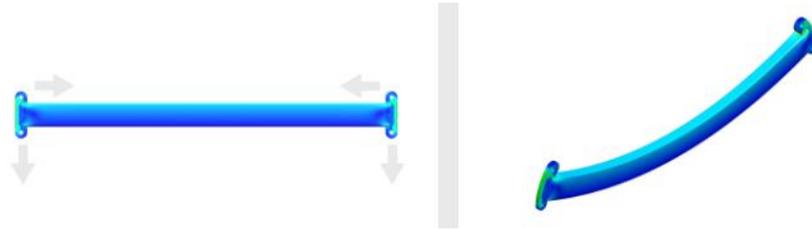


Figura 13 - Ilustração das tensões de compressão que actuam na viga [Fonte Catálogo Equipamentos e acessórios de elevação,2018]

3.3.2.2 Vantagens das vigas espalhadoras

- Muito eficiente no uso de material, geralmente menor e mais barato que as vigas de içamento.
- A distribuição de peso uniforme permite levantamentos de carga grandes e desajeitados.
- Estabilizam as cargas, reduzindo a chance de tombar ou dobrar e serem esmagadas ou danificadas.
- Eles podem ser fabricados para permitir o ajuste incremental do ângulo da cinta para ajustes de carga fora do centro.

3.3.2.3 Desvantagens das vigas espalhadoras

- As vigas espalhadoras requerem mais altura livre para acomodar as eslingas suspensas, por isso não são ideais para elevadores onde o espaço superior é limitado.
- Linhas guia podem ser necessárias para vigas longas ou cargas irregulares para manter o controle e reduzir a chance de giro.

3.3.3 Aplicabilidade das vigas de elevação e vigas espalhadoras no teste de carga

Conforme foi descrito acima, as vigas de elevação e vigas espalhadoras são aplicáveis geralmente para elevação de cargas de grande volume o que faz com que não seja preferível no

problema em causa, embora que proporcionam a redução de instabilidade de carga e aumentam a segurança no trabalho durante o levantamento de carga.

CAPÍTULO IV

4 Apresentação da carga a elevar (massas)

A garra mecânica a se projectar terá a capacidade de levantamento de dois blocos maciços feitos de aço denominados especificamente por “massas” que tem um formato de um cubo com dimensões de $500mm \times 500mm \times 500mm$, que estarão organizados lado a lado, cuja massa de cada bloco é de 1 tonelada.



Figura 14 - Ilustração das massas [Fonte African LME,2021]

Desenho da carga (massa) em anexo *DEMA-EP-2022-DMI* (A3).

CAPÍTULO V

5 Projectação da Garra Mecânica

Resumidamente será descrito o procedimento da projectação da garra mecânica através do fluxograma abaixo:

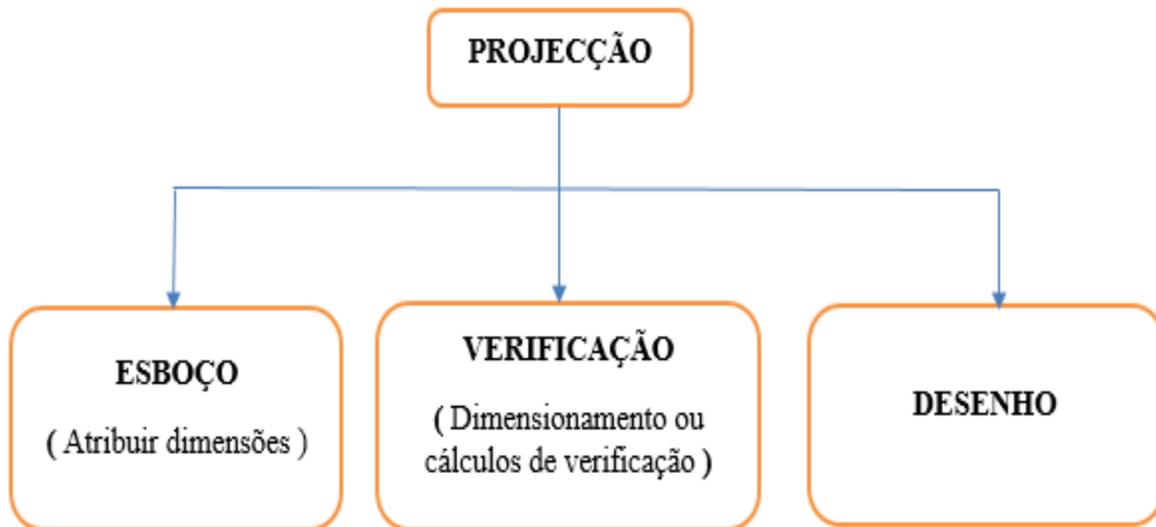


Figura 15 - Fluxograma da projectação [Fonte do Autor,2022]

Critérios usuais:

- Tensão admissível
- Flexa (deformação) admissível

5.1 Características técnicas da Garra Mecânica

Para o fabrico deste dispositivo será utilizado o material de aço de alta resistência e baixa liga aço LNE 380 (ABNT) ou S 355 MC (DIN) pelo facto deste material oferecer baixo peso e alta resistência mecânica.

Largura - 860 mm

Altura - 1338 mm

Cumprimento - 1470 mm

Peso bruto - 100 kg

Capacidade máxima - 2000 kg

Tabela 1 - Composição química do aço LNE 380.

Elemento	Concentração (%)
Carbono, C	0,12(max)
Manganês, Mn	1.10(max)
Fósforo, P	0,025 (max)
Enxofre, S	0,015(max)
Silício, Si	0,35 (max)
Alumínio, Al	0,015 (min)

Tabela 2 - Propriedades mecânicas médias do aço LNE 380.

Propriedade mecânica (Unidades no SI)	Valor
Massa específica, $\gamma, (t/m^3)$	7,85
Modulo de elasticidade, E, GPa	200
Tensão de escoamento, σ_e, MPa	380
Tensão de resistência, σ_r, MPa	500
Coefficiente de dilatação térmica, $(10^{-6})/^\circ C$	11

5.2 Esboço da Garra Mecânica e seus componentes principais

A garra mecânica é formada pelos componentes principais descritos na Tabela 3 e ilustrados na Figura 16.

Tabela 3 - Componentes principais da garra.

Número do Item	Descrição	Quantidade
1	Barra de suporte	1
2	Alavanca	8
3	Conjunto T Superior	2
4	Conjunto T Inferior	2
5	Conjunto Garra	4
6	Parafuso ajustador	4
7	Barra de Resistência	4
8	Parafuso prisioneiro	4

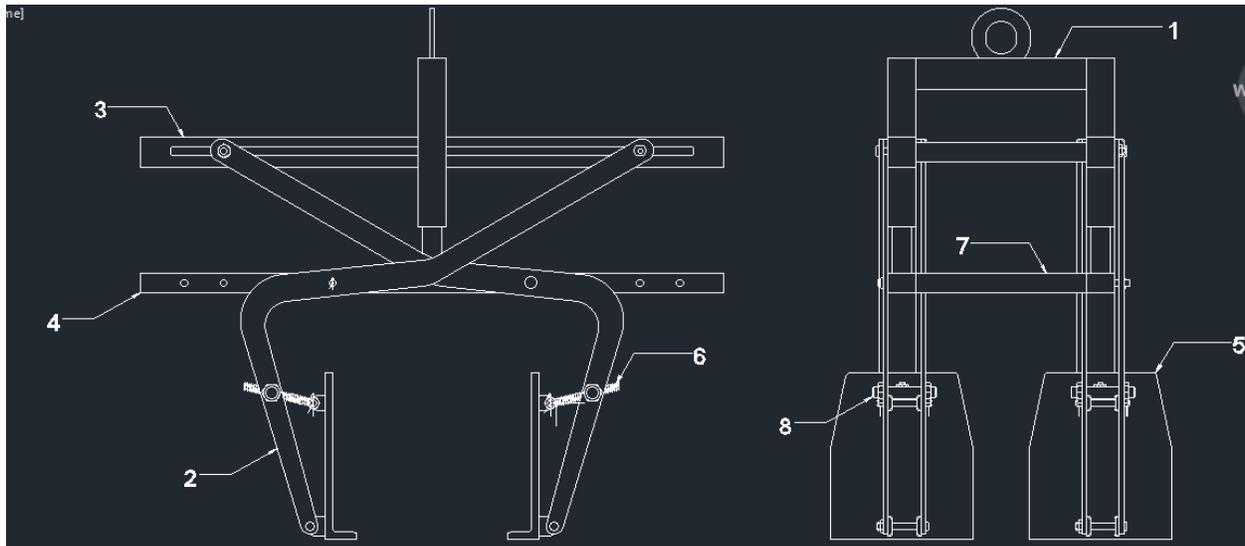


Figura 16 - Ilustração dos componentes principais da garra [Fonte do autor,2022]

O item 01 denominado Barra de Suporte demonstrado na Figura 17, é o componente responsável pela união das duas partes da garra e leva o ponto de içamento do dispositivo.

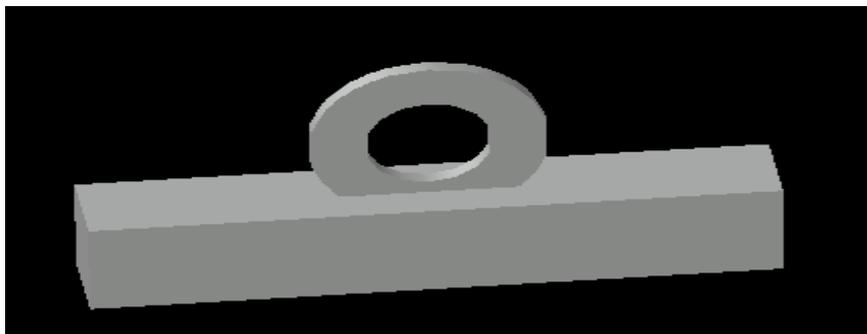


Figura 17 - Ilustração da Barra de Suporte [Fonte do autor,2022]

O item 02 denominado Alavanca demonstrado na Figura 18, é o componente que forma os braços direito e esquerdo da garra, no conjunto braço direito e braço esquerdo visualiza-se a trava que libera o equipamento para a prensagem das massas e todas as possíveis posições predeterminadas para abertura dos braços

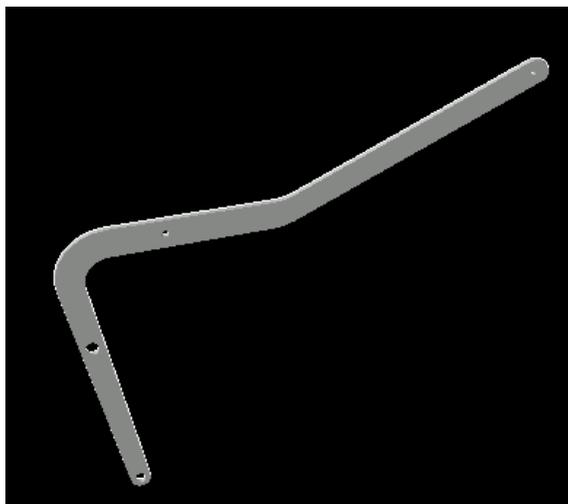


Figura 18 - Ilustração da Alavanca [Fonte do autor,2022]

O item 03 denominado Conjunto “T” Superior e demonstrado na Figura 19, é o componente onde será ligado com conjunto “T” Inferior de modo a permitir todas mobilidades do mecanismo.

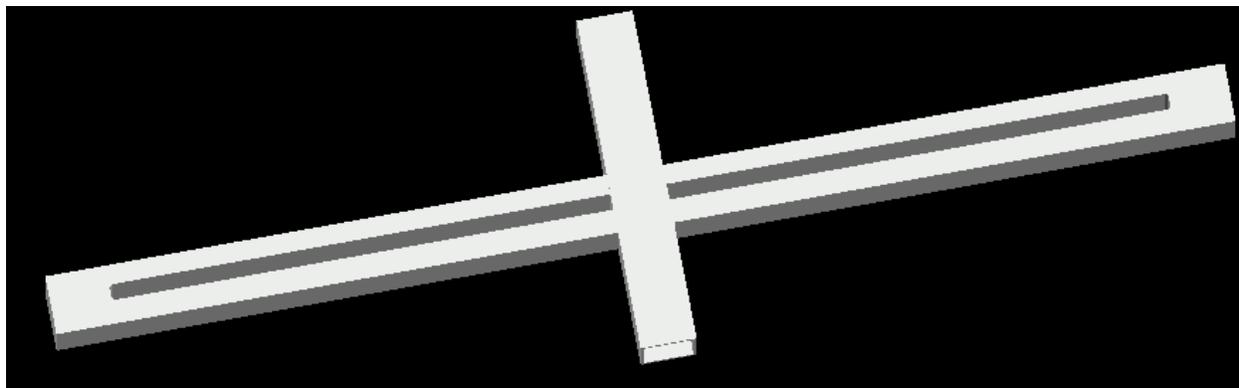


Figura 19 - Ilustração do Conjunto T Superior [Fonte do autor,2022]

O item 04 denominado Conjunto “T” Inferior e demonstrado na Figura 20 será embutido no item 03, permitindo o movimento livre na vertical.

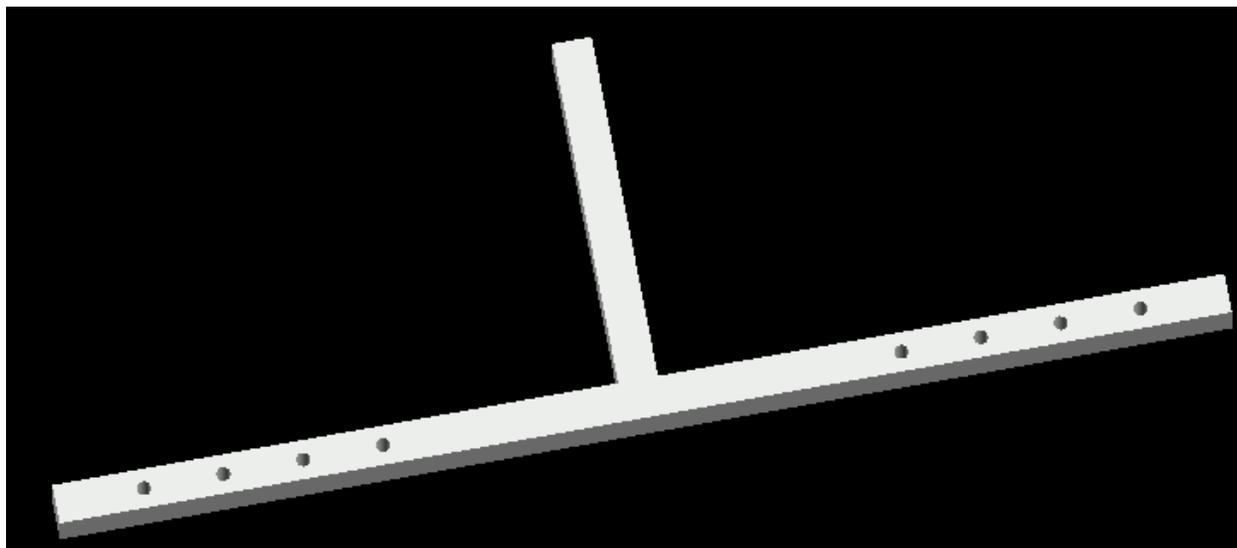


Figura 20 - Ilustração do Conjunto T Inferior [Fonte do autor,2022]

O item 05 denominado Conjunto Garra e demonstrado na Figura 21 é responsável pelo contacto directo com as massas transmitindo a força de aperto necessária para a tarefa de fixação e sustentação do mesmo.

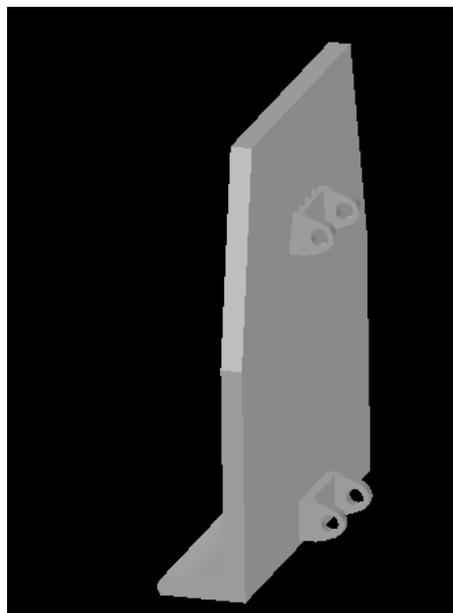


Figura 21 - Ilustração do Conjunto garra [Fonte do autor,2022]

O item 06 denominado Parafuso ajustador demonstrado na Figura 22, é o componente responsável pela regulação do ângulo de inclinação entre o conjunto garra e as alavancas.

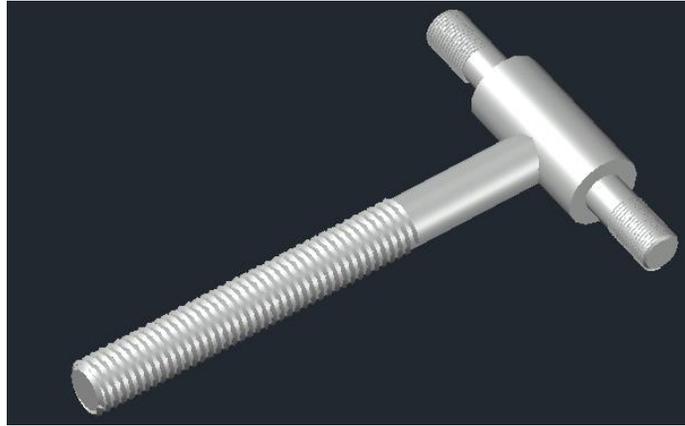


Figura 22 - Ilustração do Parafuso ajustador [Fonte do autor,2022]

O item 07 denominado Barra de Resistência demonstrado na Figura 23, é o componente que serve para aumentar a resistência de ligação das duas partes da garra mecânica.

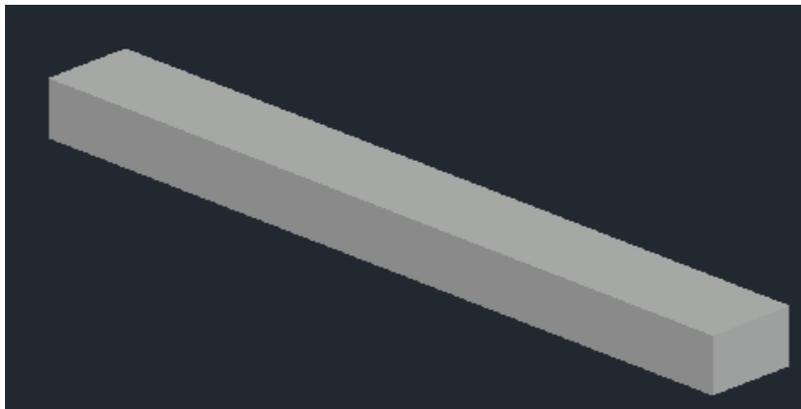


Figura 23 - Ilustração da Barra de Resistência [Fonte do autor,2022]

O item 08 denominado Parafuso Prisoneiro mostrado na Figura 24, é o componente por onde será introduzido o parafuso ajustador de modo a permitir a regulação do ângulo de inclinação entre o conjunto garra e as alavancas.

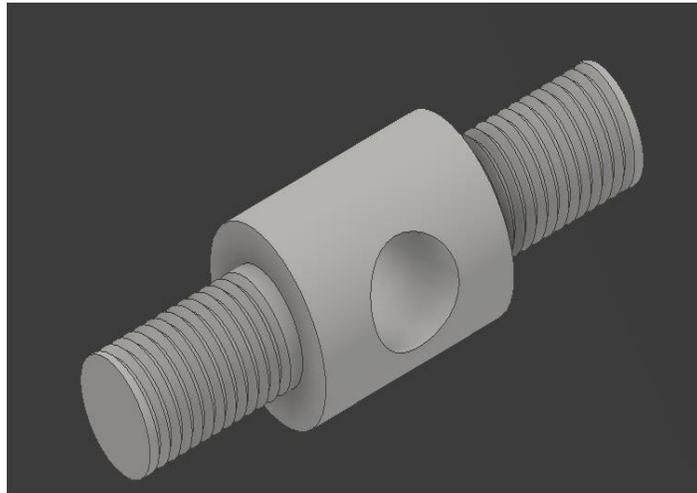


Figura 24 - Ilustração do Parafuso prisioneiro [Fonte do autor,2022]

5.3 Funcionamento do Mecanismo

O mecanismo serve para transporte de massas como havia se narrado anteriormente, deste modo o aperto das massas através do conjunto garra, surge quando é solicitada uma força de içamento aplicada no olhal de içamento do mecanismo, nesse caso o conjunto T Superior irá movimentar-se verticalmente para cima em relação ao conjunto T Inferior, e as alavancas irão correr em relação ao conjunto T Superior garantindo desse modo atrito suficiente para prender as massas conforme está ilustrado na figura 25. Quando se pretende aliviar o mecanismo, é necessário cessar a força de içamento e desse modo o aperto também por sua vez cessa.

O mecanismo foi projectado para uma abertura mínima de 190 mm e abertura máxima de 1130 mm conforme ilustra a figura 25.

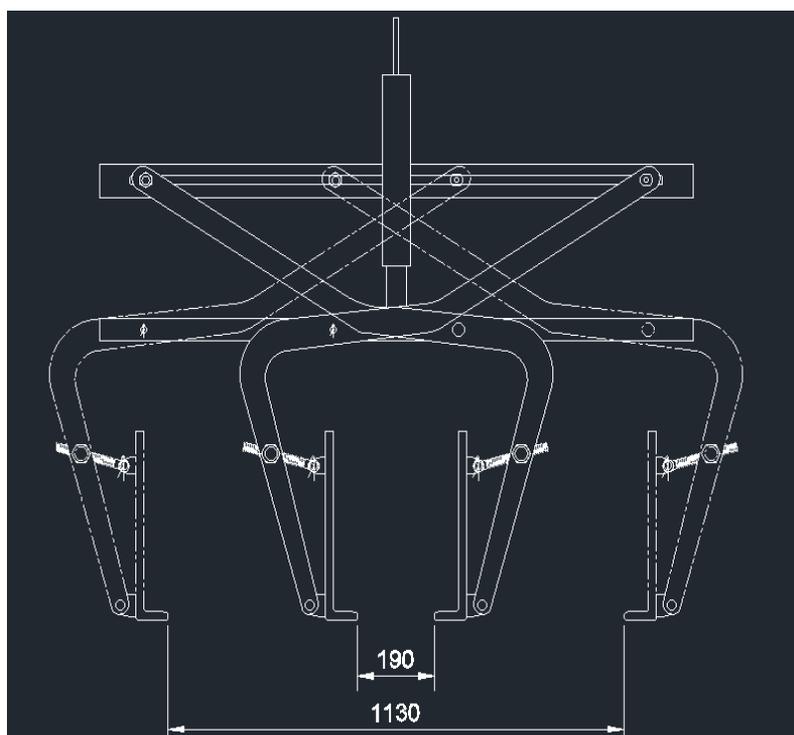


Figura 25 - Mobilidades do mecanismo [Fonte do autor,2022]

No caso de necessidade movimentação do mecanismo através de empilhadeira é aconselhável fazer o uso do **adaptador para garfo de empilhadeira**, de modo a reduzir o esforço humano.



Figura 26 - Ilustração do adaptador para garfo de empilhadeira [Fonte Catálogo Equipamentos e acessórios de elevação,2018]

5.4 Determinação da massa da Garra Mecânica

Para calcular a massa do equipamento é necessário e suficiente obter os seguintes parâmetros o volume geométrico do equipamento e a massa específica do material que compõe o equipamento. Desta feita, obteve-se o volume de cada componente da garra através do software autoCAD, as massas parciais do equipamento vai-se determinar através da seguinte fórmula:

$$m = V \times \rho \quad [Kg] \quad (1)$$

Onde: V – Volume de cada componente da garra, em $[m^3]$

ρ - Massa específica do material, em $[Kg/m^3]$

m - Massa parcial, em $[Kg]$

Determinação das massas parciais:

Para as peças feitas de Aço LNE 380 têm a massa específica de $7850 \text{ Kg}/m^3$ e as de Aço 45 têm massa específica de $7860 \text{ Kg}/m^3$.

Barra de resistência :

$$m = V \times \rho \rightarrow m = 4.175 \times 10^{-4} m^3 \times 7850 \text{ Kg}/m^3 \rightarrow m = 3.27 \text{ Kg}$$

Conjunto T superior :

$$m = V \times \rho \rightarrow m = 9.5766 \times 10^{-4} m^3 \times 7850 \text{ Kg}/m^3 \rightarrow m = 7.52 \text{ Kg}$$

Conjunto T inferior :

$$m = V \times \rho \rightarrow m = 1.0482 \times 10^{-3} m^3 \times 7850 \text{ Kg}/m^3 \rightarrow m = 8.22 \text{ Kg}$$

Conjunto garra :

$$m = V \times \rho \rightarrow m = 3.395178 \times 10^{-4} m^3 \times 7850 \text{ Kg}/m^3 \rightarrow m = 2.66 \text{ Kg}$$

Barra de suporte :

$$m = V \times \rho \rightarrow m = 8.536337 \times 10^{-4} m^3 \times 7850 \text{ Kg}/m^3 \rightarrow m = 6.7 \text{ Kg}$$

Alavanca :

$$m = V \times \rho \rightarrow m = 4.59008 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \times 7850 \text{ Kg/m}^3 \rightarrow m = 3.60 \text{ Kg}$$

Parafuso ajustador :

$$m = V \times \rho \rightarrow m = 1.10198 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \times 7860 \text{ Kg/m}^3 \rightarrow m = 0.87 \text{ Kg}$$

Parafuso prisioneiro :

$$m = V \times \rho \rightarrow m = 6.30198 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \times 7860 \text{ Kg/m}^3 \rightarrow m = 0.5 \text{ Kg}$$

Massa geral do equipamento:

$$M_g = \sum m \times n \quad [\text{Kg}] \quad (2)$$

Onde: M_g – Massa geral do equipamento, em [Kg]

n – Quantidade de cada componente

massa dos artigos normalizados - 3.8 Kg

$$M_g = (3.27 \times 4 + 7.52 \times 2 + 8.22 \times 2 + 2.66 \times 4 + 6.7 \times 1 + 3.60 \times 8 + 0.87 \times 4 + 0.5 \times 4 + 3.8)$$

$$M_g = 100 \text{ Kg}$$

5.5 Dimensionamento da Garra Mecânica

Com base na orientação de que a garra deve ser fabricada com um número mínimo possível de itens para a redução do peso e através das características técnicas exigidas para a garra, iniciou-se o dimensionamento dinâmico do equipamento através de cálculos analíticos realizados através da teoria de resistência dos materiais.

A garra mecânica possui capacidade de elevar uma massa de 2000 kg. Buscou-se na norma NBR 8400 na qual Classe de Utilização e Estado de Carga se enquadra este equipamento, servindo de base para os cálculos. Para cada uma destas classes estipula-se um número total teórico de ciclos de levantamento que o equipamento deverá efetuar durante sua vida. Estes números de ciclos de levantamento constantes na Tabela 4 e Tabela 5 servem de base para a

determinação do número de ciclos de variações de tensões, em um elemento da estrutura, ou um elemento não giratório dos mecanismos, na verificação à fadiga. Conforme as tabelas, considerou-se CLASSE: D com 2 milhões de ciclos e Estados de Carga: 3.

Tabela 4 - Classes de utilização NBR 8400.

Classe de utilização	Frequência de utilização do movimento de levantamento	Número convencional de ciclos de levantamento
A	Utilização ocasional não regular, seguida de longos períodos de repouso	6.3×10^4
B	Utilização regular em serviço intermitente	2.0×10^5
C	Utilização regular em serviço intensivo	6.3×10^5
D	Utilização em serviço intensivo severo, efetuado, por exemplo, em mais de um turno	2.0×10^6

Tabela 5 - Estados de carga

Estado de carga	Definição	Fração mínima da carga máxima
0 (muito leve)	Equipamentos levantando excepcionalmente a carga nominal e comumente cargas muito reduzidas	$P = 0$
1 (leve)	Equipamentos que raramente levantam a carga nominal e comumente cargas de ordem de 1/3 da carga nominal	$P = 1/3$
2 (médio)	Equipamentos que frequentemente levantam a carga nominal e comumente cargas compreendidas entre 1/3 e 2/3 da carga nominal	$P = 2/3$
3 (pesado)	Equipamentos regularmente carregadas com a carga nominal	$P = 1$

O cálculo da estrutura do equipamento é efetuado determinando-se as tensões atuantes na mesma durante o seu funcionamento. Conforme Tabela 6, enquadrou-se no Estado de tensões 3 (pesado) onde o elemento está submetido frequentemente a sua tensão máxima.

Tabela 6 - Estado de tensões de um elemento.

Estado de tensões	Definição	Fração mínima da tensão máxima
0 (muito leve)	Elemento submetido excepcionalmente à sua tensão máxima e comumente tensões muito reduzidas	$P = 0$
1 (leve)	Elemento submetido raramente à sua tensão máxima, mas comumente tensões de ordem de 1/3 da tensão máxima	$P = 1/3$
2 (médio)	Elemento frequentemente submetido à sua tensão máxima e comumente a tensões compreendidas entre 1/3 e 2/3 da tensão máxima	$P = 2/3$
3 (pesado)	Elemento regularmente submetido à sua tensão máxima	$P = 1$

Através da Tabela 7, determinou-se através do Estado de tensão 3 e a Classe de utilização D com seu respectivo número de ciclos que a garra pertence ao grupo 6.

Tabela 7 - Classificação da estrutura dos equipamentos em grupos.

Estado de cargas (ou estado de tensões para um elemento)	Classe de utilização e número convencional de ciclos de levantamento (ou de tensões para um elemento)			
	A	B	C	D
	6.3×10^4	2.0×10^5	6.3×10^5	2.0×10^6
0 (muito leve) $P = 0$	1	2	3	4
1 (leve)	2	3	4	5

P = 1/3				
2 (médio) P = 2/3	3	4	5	6
3 (pesado) P = 1	4	5	6	6

As solicitações devidas aos movimentos verticais são provenientes do içamento relativamente brusco da carga de serviço, durante o levantamento, e de possíveis choques verticais devido ao movimento sobre o caminho de rolamento. Nas solicitações devidas ao levantamento da carga de serviço, levam-se em conta as oscilações provocadas pelo levantamento brusco da carga, multiplicando-se as solicitações devidas à carga de serviço por um factor chamado coeficiente dinâmico (ψ). O valor do coeficiente dinâmico a ser aplicado à solicitação devida à carga de serviço é dado na Tabela 8.

Tabela 8 - Valores do coeficiente dinâmico.

Equipamento	Coeficiente dinâmico ψ	Faixa de velocidade de elevação da carga (m/s)
Pontes ou pórticos rolantes	1.15	$0 < V_L \leq 0.25$
	$1 + 0.6 V_L$	$0.25 < V_L < 1$
	1.60	$V_L \geq 1$
Guindaste com lanças	1.15	$0 < V_L \leq 0.5$
	$1 + 0.3 V_L$	$0.5 < V_L < 1$
	1.3	$V_L \geq 1$

Nota: O coeficiente dinâmico é menor quando o esforço de levantamento se faz sobre um elemento de estrutura mais flexível, como no caso de guindaste com lanças.

Verificou-se que a velocidade de deslocamento vertical da garra através da ponte rolante será inferior que 0,25m/s, logo as cargas serão multiplicadas pelo fator dinâmico ψ de 1,15 através da Equação (2).

$$F = m \cdot g \cdot \psi \quad [N] \quad (2)$$

$$F = m \cdot g \cdot 1,15 \quad [N] \quad (2)$$

A norma prevê três casos de solicitações que o equipamento poderá estar submetido.

- a) caso I - serviço normal sem vento;
- b) caso II - serviço normal com vento limite de serviço;
- c) caso III - solicitações excepcionais.

As diversas solicitações determinadas como indicado podem, em certos casos, ser ultrapassadas devido às imperfeições de cálculo ou a imprevistos. Por esse motivo leva-se ainda em conta um coeficiente de majoração (M_x), que depende do grupo no qual está classificado o equipamento, que deve ser aplicado no cálculo das estruturas.

Como a garra pertence ao grupo 6, o valor do coeficiente de majoração M_x é obtido da Tabela 9 e corresponde a 1,20. Este valor multiplica-se com o coeficiente de segurança proposto para a garra mecânica, 1,5 originário do caso I, obtido da Tabela 10, equivalendo a divisão da tensão de escoamento por 1,5.

Tabela 9 - Coeficiente de majoração para equipamentos industriais.

Grupos	1	2	3	4	5	6
M_x	1	1	1	1.06	1.12	1.20

Tabela 10 - Tensões admissíveis à tração (ou compressão) simples.

Tensões admissíveis à tração (ou compressão) simples			
Casos de solicitação	Caso I	Caso II	Caso III
Tensão admissível			
$[\sigma]$	$\frac{\sigma_e}{1.5}$	$\frac{\sigma_e}{1.33}$	$\frac{\sigma_e}{1.1}$

Conforme determinado, através da Equação (3) multiplica-se os coeficientes e obtém-se o CS (Coeficiente de Segurança) necessária para a garra mecânica.

$$CS = 1.20 \times 1.5 = 1.8 \quad (3)$$

5.5.1 Forças actuantes na Garra

A Figura 27 ilustra as forças actuando na garra. Calculou-se a força do içamento através da força do equipamento e das massas utilizando a Equação (4) .

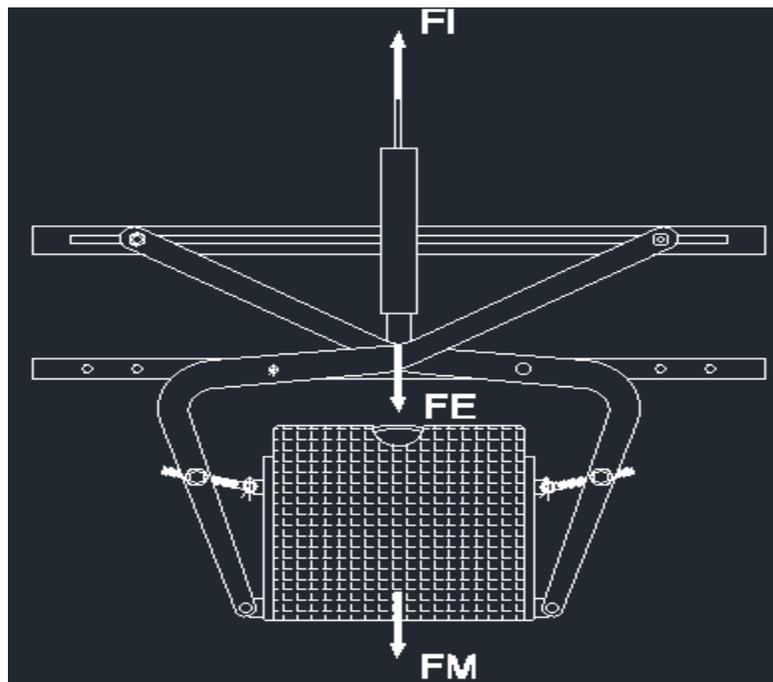


Figura 27 - Ilustração das forças actuantes na garra [Fonte do autor,2022]

$$F = m \cdot g \cdot 1,15 \quad [N] \quad (2)$$

$$\Sigma F_y = 0 \rightarrow F_I - F_E - F_M = 0 \quad [N] \quad (4)$$

$$F_E = m \cdot g \cdot 1,15 = 100 \cdot 10 \cdot 1,15 = 1150 \text{ N}$$

$$F_M = m \cdot g \cdot 1,15 = 2000 \cdot 10 \cdot 1,15 = 23000 \text{ N}$$

$$F_I = F_E + F_M = 1150 + 23000 = 24150 \text{ N}$$

5.5.2 Dimensionamento da barra de suporte

Projetou-se com aço LNE 380, onde tensão de escoamento é de 380 MPa, resistência a tracção de 500 MPa e a tensão de cisalhamento pelo critério de Tresca (metade da tensão de escoamento) é de 190 MPa.

$$[\sigma] = \frac{\sigma_e}{cs} \quad [MPa] \quad (5)$$

$$[\sigma] = \frac{\sigma_e}{cs} = \frac{380}{1.8} = 211.1 \text{ MPa}$$

Em seguida calculou-se a tensão de flexão da alavanca. A secção utilizada para cálculo do momento de inércia está destacada na Figura 28.

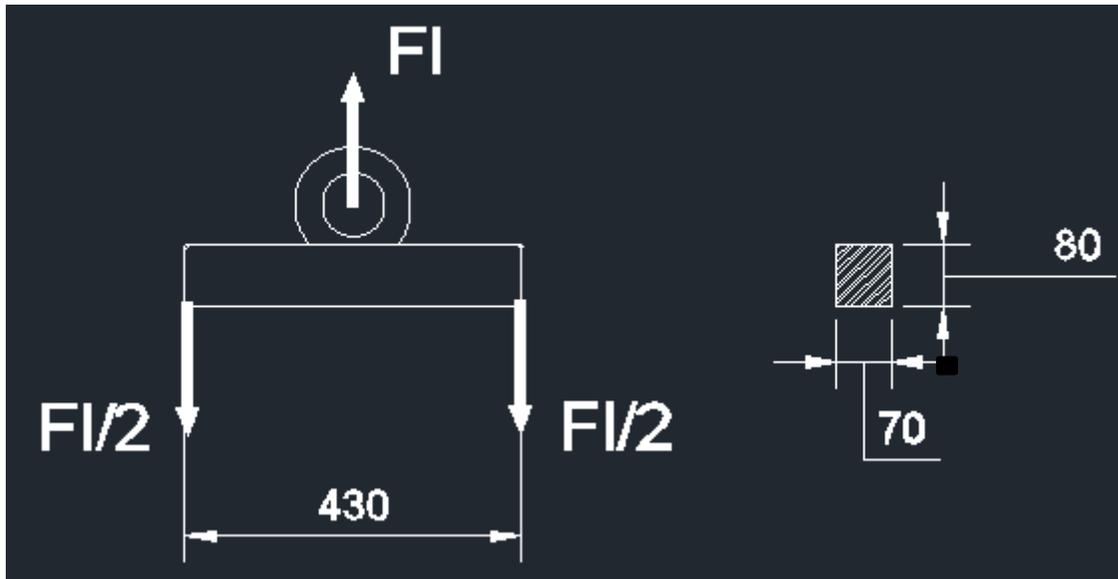


Figura 28 - Ilustração das forças que actuam na barra de suporte e a sua respectiva secção [Fonte do autor,2022]

Área de secção transversal :

$$A = c \times l \quad [mm^2] \quad (6)$$

$$A = c \times l = 80 \times 70 = 5600 \text{ mm}^2$$

Cálculo do momento de inércia:

$$I_z = \frac{b \cdot h^3}{12} \quad [mm^4] \quad (7)$$

$$I_z = \frac{70 \cdot 80^3}{12} = 2986666.67 \text{ mm}^4$$

Calculou-se através da equação (8) o momento máximo na barra.

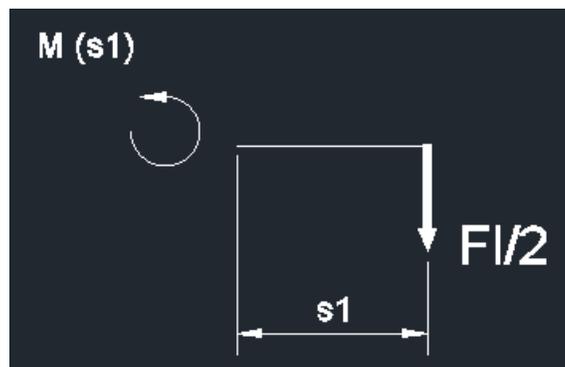


Figura 29 - Esforços internos na barra de suporte [Fonte do autor,2022]

$$M_{s_1} - \frac{F_l}{2} \times 215 = 0 \quad [N.mm] \quad (8)$$

$$M_{s_1} = \frac{24150}{2} \times 215 = 2596125 N.mm$$

Logo, o valor da tensão de flexão máxima nesta região é determinada pela equação (9).

$$\sigma_{max} = \frac{M \times c}{I} \quad [MPa] \quad (9)$$

$$\sigma_{max} = \frac{2596125 \times 40}{2986666.67} = 34.7695 MPa$$

$[\sigma] \geq \sigma_{max} \rightarrow$ **o elemento resiste à flexão**

5.5.2.1 Dimensionamento do olhal de içamento

O olhal de içamento é um componente soldado na barra de suporte conforme mostra a Figura 28. Projetou-se com material ASTM A36, onde Tensão de escoamento é de 250 MPa, Resistência a tracção de 400 MPa e a Tensão de cisalhamento pelo critério de Tresca (metade da Tensão de escoamento) é de 125 MPa.

$$[\sigma] = \frac{\sigma_e}{cs} \quad [MPa] \quad (5)$$

$$[\sigma] = \frac{\sigma_e}{cs} = \frac{250}{1.8} = 138.89 MPa$$

Tensão máxima na secção próxima ao furo de içamento

Determinou se através de software de Autocad a área da secção em corte, sendo igual a 11845,91 mm².

A seguir determina-se o factor de concentração de tensões K_t através da equação (10).

$$K_t = 3 - 3,13 \times \left(\frac{2 \times r}{D}\right) + 3,66 \times \left(\frac{2 \times r}{D}\right)^2 - 1,53 \times \left(\frac{2 \times r}{D}\right)^3 \quad (10)$$

$$K_t = 3 - 3,13 \times \left(\frac{2 \times 40}{150} \right) + 3,66 \times \left(\frac{2 \times 40}{150} \right)^2 - 1,53 \times \left(\frac{2 \times 40}{150} \right)^3$$

$$K_t = 2.14$$

Determinação da tensão máxima:

$$\sigma_{max} = \frac{K_t \cdot F_l}{A} \quad [MPa] \quad (11)$$

$$\sigma_{max} = \frac{2.14 \times 24150}{11845,91} = 4,36 \text{ MPa}$$

$$[\sigma] > \sigma_{max} \rightarrow \text{ o elemento resiste.}$$

Tensão de esmagamento no furo

Refere-se a área teórica projectada de contacto com o gancho da talha, e é dada pela Equação (12).

$$A = d \cdot t \quad [mm^2] \quad (12)$$

$$A = 80 \times 12 = 960 \text{ mm}^2$$

A projectção da região de contacto entre o gancho e o furo, onde d é o diâmetro do eixo ou do furo e t a largura da região de contacto.

Determinação da tensão de esmagamento

$$\sigma_{esm} = \frac{F_l}{A} \quad [MPa] \quad (13)$$

$$\sigma_{esm} = \frac{24150}{960} = 25.15 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{adm} > \sigma_{esm} \rightarrow \text{ o elemento resiste ao esmagamento.}$$

5.5.2.2 Soldadura do olhal de içamento

Para determinar a resistência da soldadura no olhal de içamento e da barra de suporte conforme Figura 28, considerou-se como a região mais crítica de solda.

Utilizou-se a área de solda dos cordões. Projetou-se com material ASTM A36, onde tensão de escoamento é de 250 MPa, resistência a tração de 400 MPa e a tensão de cisalhamento pelo critério de Tresca (metade da tensão de escoamento) é de 125 MPa.

$$[\sigma] = \frac{\sigma_e}{cs} \quad [MPa] \quad (5)$$

$$[\tau] = \frac{\sigma_e}{cs} = \frac{250}{1.8} = 138.89 \text{ MPa}$$

Tensão de cisalhamento

Determinou-se a tensão de cisalhamento no cordão de soldadura da junta em T, considerando todo o contorno da solda através da fórmula (14).

$$\tau_{cis} = \frac{F_l}{A} = \frac{F_l}{0.707 \times h \times l} \quad [MPa] \quad (14)$$

Onde: h é a medida da garganta e l é o perímetro do contorno do cordão de soldadura.

$$\tau_{cis} = \frac{F_l}{0.707 \times h \times l} = \frac{24150}{0.707 \times 4 \times 274} = 31.16 \text{ MPa}$$

$[\tau] \geq \tau_{cis}$ **o cordão de soldadura resiste ao cisalhamento.**

5.5.3 Dimensionamento da Alavanca

Projectou-se com aço LNE 380, onde tensão de escoamento é de 380 MPa, resistência a tração de 500 MPa e a tensão de cisalhamento pelo critério de Tresca (metade da tensão de escoamento) é de 190 MPa.

$$[\sigma] = \frac{\sigma_e}{cs} \quad [MPa] \quad (5)$$

$$[\sigma] = \frac{\sigma_e}{cs} = \frac{380}{1.8} = 211.1 \text{ MPa}$$

A garra montada é formada por 8 peças denominadas “Alavanca”. Desta forma, as forças F_E e F_M aplicadas serão proporcionais a cada alavanca, gerando novas forças com suas posições ilustradas na Figura 30.

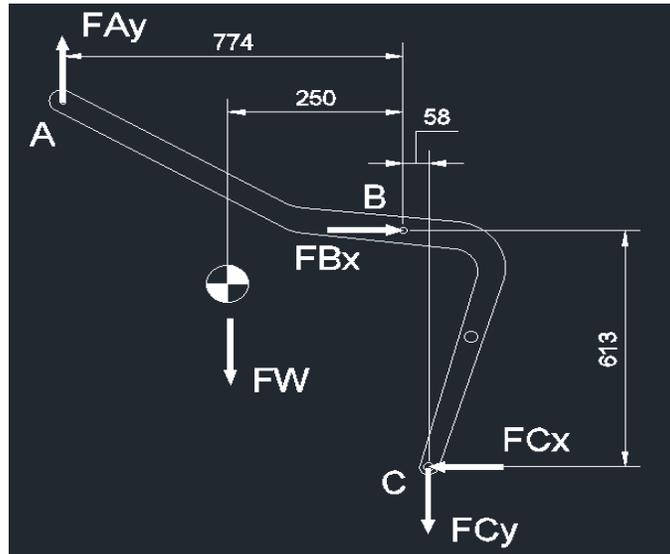


Figura 30 - Forças que actuam na alavanca [Fonte do autor,2022]

$$\Sigma F_x : F_{Bx} - F_{Cx} = 0 \quad (15)$$

$$\Sigma F_y : F_{Ay} - F_W - F_{Cy} = 0 \quad (16)$$

$$\Sigma M_C : F_{Bx} \cdot 613 - F_W \cdot 308 + F_{Ay} \cdot 832 = 0 \quad (17)$$

Através da equação (16) tem-se:

$$F_{Cy} = F_{Ay} - F_W = \frac{F_I}{8} - \frac{F_E}{8} = \frac{24150}{8} - \frac{1150}{8} = 2875 \text{ N}$$

Através da equação (17) tem-se:

$$F_{Bx} = \frac{F_W \cdot 308 - F_{Ay} \cdot 832}{613} = \frac{\frac{1150}{8} \cdot 308 - \frac{24150}{8} \cdot 832}{613} = 4025 \text{ N}$$

Através da equação (15) tem-se:

$$F_{Cx} = F_{Bx} = 4025 \text{ N}$$

Em seguida calculou-se a tensão de flexão da alavanca.

Área de secção transversal:

$$A = c \times l \quad [mm^2] \quad (6)$$

$$A = c \times l = 60 \times 12 = 720 \text{ mm}^2$$

Cálculo do momento de inércia:

$$I_z = \frac{b \cdot h^3}{12} \quad [mm^4] \quad (7)$$

$$I_z = \frac{12 \cdot 60^3}{12} = 216000 \text{ mm}^4$$

Calculou-se através do somatório de momento o respectivo M_B conforme Figura 31. Aplicou-se a Equação (18).

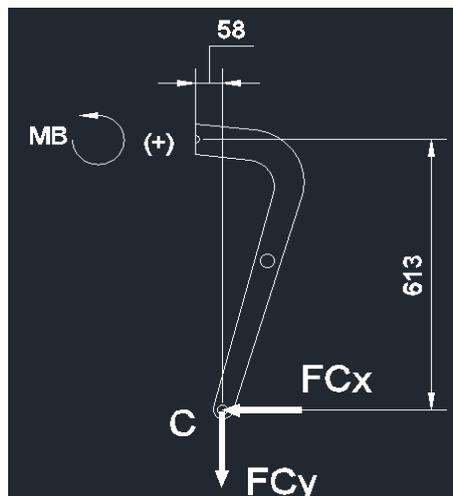


Figura 31 - Ilustração das forças que causam momento de flexão no ponto B [Fonte do autor,2022]

$$M_B + F_{Cx} \times 612 - F_{Cy} \times 58 = 0 \quad (18)$$

$$M_B = F_{Cy} \times 58 - F_{Cx} \times 612 = 2875 \times 58 - 4025 \times 612 = 229655 \text{ N.mm}$$

Logo, o valor da tensão de flexão máxima nesta região é determinada pela equação (9).

$$\sigma_{max} = \frac{M \times c}{I} \quad [MPa] \quad (9)$$

$$\sigma_{max} = \frac{229655 \times 30}{216000} = 31.896 \text{ MPa}$$

$[\sigma] \geq \sigma_{max} \rightarrow$ o elemento resiste à flexão.

5.5.4 Dimensionamento do eixo da garra

Utilizou-se como material para o eixo da garra o aço SAE 1045, tendo tensão de escoamento 370 MPa e resistência a tração de 650 MPa. Pelo critério de Tresca, a tensão de cisalhamento é 185 MPa.

$$[\sigma] = \frac{\sigma_e}{cs} \quad [\text{MPa}] \quad (5)$$

$$[\tau] = \frac{\sigma_e}{cs} = \frac{370}{1.8} = 205.56 \text{ MPa}$$

Para dimensionamento do eixo da garra, utilizou-se composição das forças concorrentes F_{Cx} e F_{Cy} , formando a força resultante F_{CR} , conforme mostra Figura 32.

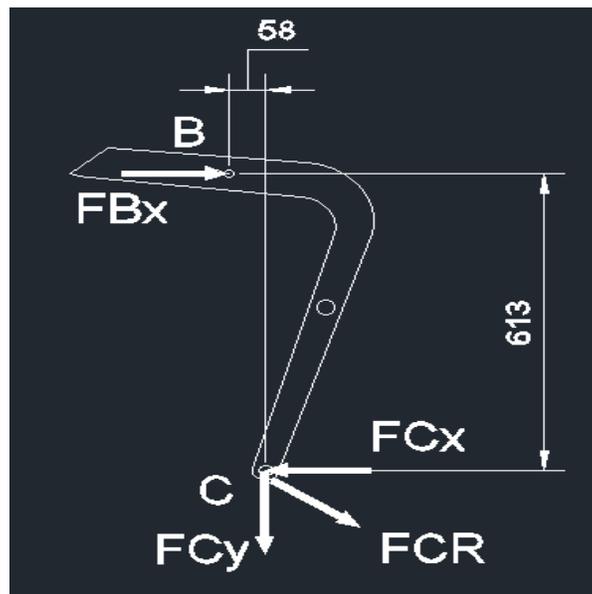


Figura 32 - Ilustração das forças concorrentes no ponto C [Fonte do autor,2022]

$$F_{CR} = \sqrt{F_{Cx}^2 + F_{Cy}^2} \quad [N] \quad (19)$$

$$F_{CR} = \sqrt{4025^2 + 2875^2} = 4946.337 \text{ N}$$

Calculou-se a tensão média de cisalhamento através da Equação (20)

$$\tau_{méd} = \frac{F_{CR}}{A} \quad [N] \quad (20)$$

$$\tau_{méd} = \frac{F_{CR}}{A} = \frac{F_{CR}}{\pi \times \frac{D^2}{4}} = \frac{4946.337}{\pi \times \frac{18^2}{4}} = 19.437 \text{ MPa}$$

Onde: A é a área da secção de transversal do eixo, em mm^2 .

$$[\tau] \geq \tau_{med} \rightarrow \text{ o elemento resiste ao cisalhamento}$$

5.5.5 Dimensionamento do pino da garra

Utilizou-se como material para o eixo da garra o aço SAE 1045, tendo tensão de escoamento 370 MPa e resistência a tração de 650 MPa. Pelo critério de Tresca, a tensão de cisalhamento é 185 MPa.

$$[\sigma] = \frac{\sigma_e}{cS} \quad [MPa] \quad (5)$$

$$[\tau] = \frac{\sigma_e}{cS} = \frac{370}{1.8} = 205.56 \text{ MPa}$$

Calculou-se a tensão média de cisalhamento através da Equação (21), Para dimensionamento do eixo da garra, utilizou-se a força F_{Bx} .

$$\tau_{méd} = \frac{F_{Bx}}{A} \quad [N] \quad (21)$$

$$\tau_{méd} = \frac{F_{Bx}}{A} = \frac{F_{Bx}}{\pi \times \frac{D^2}{4}} = \frac{4025}{\pi \times \frac{16^2}{4}} = 20.02 \text{ MPa}$$

Onde: A é a área da secção de transversal do pino, em mm^2 .

$$[\tau] \geq \tau_{med} \rightarrow \text{ o elemento resiste ao cisalhamento}$$

5.6 Resultado do Dimensionamento

Para melhor apresentar os resultados obtidos deste dimensionamento, criou-se a tabela 11 indicando os resultados obtidos.

Tabela 11 - Resultados do dimensionamento.

Dimensionamento	Calculado	Valor	Coefficiente de Segurança
Dimensionamento da barra de suporte	Tensão de flexão máxima	34.7695 MPa	10.929
Dimensionamento do olhal de içamento	Tensão máxima na secção próxima ao furo de içamento	4,36 MPa	57.339
	Tensão de esmagamento no furo	25.15 MPa	9.940
Soldadura do olhal de içamento	Tensão de cisalhamento	31.16 MPa	8.023
Dimensionamento da Alavanca	Tensão de flexão máxima	31.896 MPa	11.91
Dimensionamento do eixo da garra	Tensão média de cisalhamento	19.437 MPa	19.035
Dimensionamento do pino da garra	Tensão média de cisalhamento	20.02 MPa	18.481
RESULTADO: 8.023 maior que o coeficiente de segurança mínimo para o equipamento, sendo assim considerado RESISTENTE.		Menor CS	8.023
		CS mínimo	1.8

O maior coeficiente de Segurança calculado foi de 57.339.

O menor coeficiente de Segurança calculado foi de 8.023, sendo este, portanto considerado para a garra mecânica.

5.7 Desenho da Garra Mecânica e seus principais componentes

Desenho de montagem da garra mecânica em anexo *DEMA-EP-2022-DM* (A1).

Desenhos de fabrico dos componentes em anexos:

DEMA-EP-2022-DM001 (A4);

DEMA-EP-2022-DM002 (A4);

DEMA-EP-2022-DM003 (A4);

DEMA-EP-2022-DM004 (A4);

DEMA-EP-2022-DM005 (A4);

DEMA-EP-2022-DM006 (A4);

DEMA-EP-2022-DM007 (A4);

DEMA-EP-2022-DM008 (A4).

CAPÍTULO VI

6.1 Viabilidade econômica do projecto

Até então foram apresentados os benefícios da implementação de uma Garra mecânica, mas além dos benefícios existem custos envolvidos. Então é necessário fazer uma análise numa perspectiva econômica.

6.1.1 Custo de implementação

Para fazer a análise da viabilidade econômica é necessário determinar o custo de implementação do projecto. Parte dos materiais e mão de obra necessária para implementação do projecto não está disponível na empresa, entretanto será necessário que a garra seja fabricada noutra empresa específica de fabrico de estruturas metálicas, alguns materiais serão adquiridos nas ferragens nacionais e outros materiais serão adquiridos por encomenda. Na tabela abaixo são apresentados os materiais a serem adquiridos e o custo da mão de obra externa.

Tabela 12 - Custo de implementacao do projecto.

Designação	Quantidades	Preço Unitário	Valor
Tubos de aço 70x70x6000	1	2,600.00 MZN	2,600.00 MZN
Tubos de aço 60x60x6000	1	2,450.00 MZN	2,450.00 MZN
Varões de aço Ø50 x2000	1	1,000.00 MZN	1,000.00 MZN
Chapas de aço 500x500x12mm	1	1,240.00 MZN	1,240.00 MZN
Barras de aço 75x75x6000	1	3,000.00 MZN	3,000.00 MZN
Barras de aço 50x50x6000	2	2,800.00 MZN	5,600.00 MZN
Conjunto garra	4	5,000.00 MZN	20,000.00 MZN
Alavancas	8	2,500.00 MZN	20,000.00 MZN
Parafuso ajustador	4	3,500.00 MZN	14,000.00 MZN
Conjuntos de parafusos e porcas M18	4	1,200.00 MZN	4,800.00 MZN
Conjuntos de eixo M18	4	1,200.00 MZN	4,800.00 MZN
Adaptador para garfo de empilhadeira	1	4,000.00 MZN	4,000.00 MZN
Mão de Obra			150,000.00 MZN

Total

233,490.00 MZN

6.1.2 Comparação do processo Actual com o novo processo

Nesta etapa do projecto será feita uma análise comparativa inerente ao processo actual e o novo processo, de modo a obter diferenças de custos e tempos resultante.

Tabela 13 - Comparação dos dois processos.

	Inspecção e teste de carga com recurso a cintas sintéticas	Inspecção e teste de carga com recurso a garra mecânica
Custo de implementação	12,000.00 Mt	233,490.00 Mt
Tempo de inspecção visual	50 minutos	50 minutos
Tempo de içamento	40 minutos	10 minutos
Tempo de suspensão da carga	30 minutos	30 minutos
Tempo total de inspecção e teste de carga	120 minutos	90 minutos
Balanceamento de carga	alto	baixo

Com o uso da garra mecânica é notório a redução de 30 minutos na inspecção de uma ponte rolante, em termos percentuais equivalente a uma redução de 25% devido a eliminação do tempo em que era necessário fazer uma supervisão do içamento da carga pelo Técnico de higiene e segurança no trabalho como acontece no processo actual. Também é notório que actualmente consegue se fazer a inspecção de três pontes rolantes por dia enquanto que com a implementação do novo processo consegue se inspecionar 4 pontes o que aumenta a produtividade.

6.1.3 Determinação dos critérios de avaliação econômica do projecto

Fluxo de caixa – refere se ao montante de caixa recolhido e gasto por uma empresa durante um período definido a um projecto específico.

$$F_n = f_{n-1} \times (1 + Taxa\ de\ inflac\c{a}\o) \quad (MZN) \quad (22)$$

Onde: F_n – Fluxo de caixa resultante em (MZN)

f_{n-1} – Fluxo de caixa anterior em (MZN)

n – número de semanas

Valor actual – refere se ao fluxo de caixa actualizado.

$$VA_n = \frac{F_n}{(1 + Taxa\ de\ juros)^n} \quad (MZN) \quad (23)$$

Onde: F_n – Fluxo de caixa resultante em (MZN)

n – número de semanas

VA_n – Valor actual resultante em (MZN)

Valor actual líquido – é a soma de todos fluxos de caixa actualizados para o presente momento.

$$VAL_n = val_{n-1} + va_n \quad (MZN) \quad (24)$$

Onde: VAL_n – Valor actual líquido resultante em (MZN)

val_{n-1} – Valor actual líquido anterior em (MZN)

va_n – Valor actual parcial em (MZN)

n – número de semanas

Considerando uma taxa de inflacção de 7.25% , um período de análise de 12 semanas (3 meses) e taxa de juros de 13.25% obteve – se os resultados apresentados na tabela abaixo. Sabendo que a capacidade semanal é de 192,690.00 Mt.

Tabela 14 - Fluxo de caixa, Valor actual e Valor actual líquido.

Período	Fluxo de caixa (MZN)	Valor Actual (MZN)	Valor Actual Líquido (MZN)
0	-233,490.00	-233,490.00	-233,490.00
1	192,690.00	170,146.00	-63,344.00
2	206,660.00	161,131.00	97,787.00
3	221,643.00	152,595.00	250,382.00
4	237,712.00	144,510.00	394,892.00
5	254,946.00	136,854.00	531,746.00
6	273,430.00	129,603.00	661,349.00
7	293,253.00	122,737.00	784,086.00
8	314,514.00	116,234.00	900,320.00
9	314,514.00	102,635.00	1,002,926.00
10	337,316.00	97,198.00	1,100,153.00
11	361,772.00	92,048.00	1,192,201.00
12	388,000.00	87,171.00	1,279.373.00

Índice de rentabilidade

$$IR = \frac{\text{Resultado líquido}}{\text{resultado total}} \times 100 \quad (25)$$

Tabela 15 - Critérios de avaliação econômica.

Indicadores económicos	
Valor Actual Líquido (VAL)	1,279.373.00 MZN
Período de Retorno do Investimento (PRI)	1 mês
Índice de Rentabilidade (IR)	7.6

Com base nesses resultados conclui-se que o projecto é economicamente viável, com período de retorno de investimento de 4 semanas (1 mês) e valor líquido de 1,279.373.00 MT depois de 3 meses.

6.2 Conclusões

- Conforme apresentado anteriormente, foi possível projectar uma garra mecânica para movimentação, içamento e manuseio de carga este dispositivo movimentará as massas de forma eficiente e eficaz segundo os dados apresentados na **tabela 11**, aumentando a segurança no trabalho, visto que antes com o uso de cintas a instabilidade da carga era maior. As cintas sintéticas quando são usadas começam desgastar-se o que torna um grande perigo para o ambiente de trabalho e também pode se dar o caso de a carga, o gancho ou qualquer componente que tenha uma superfície cortante causar corte na cinta podendo desta forma haver o rompimento da cinta e conseqüentemente queda da carga, pois com a projecção deste dispositivo todos esses problemas ficam eficientemente resolvidos. Para além de aumentar a segurança no trabalho, também reduz de forma significativa o tempo de trabalho, visto que com uso das cintas leva se cerca de 40 minutos para o içamento de carga enquanto que com a garra mecânica leva se 10 minutos o que faz com que haja redução de tempo de 30 minutos.
- Foi também realizado o estudo económico que prevê que o sistema é economicamente viável e que o valor investido poderá ser recuperado após 1 mês de funcionamento da garra mecânica.
- Com a prática das actividades realizadas durante o estágio foi possível estabelecer contacto com actividade e organização duma empresa, bem como, desenvolver habilidades profissionais para a aplicação em trabalhos de engenharia e vida profissional.

Recomendações

Para aumentar o tempo de vida útil deste equipamento e garantir melhor desempenho e segurança no sector de trabalho recomenda-se:

- A implementação da garra mecânica;
- A lubrificação das superfícies que trabaham em contacto;
- Respeitar o tempo de vida útil da garra mecânica.

Referências bibliográficas

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8400**: cálculo de equipamento para levantamento e movimentação de cargas. Rio de Janeiro, 1984. 108 p;
- [2] SAUR EQUIPAMENTOS S.A. **Garra Mecânica para Blocos de Concreto**. Disponível em: <<http://www.saur.com.br/>> .Acesso em 05/04/2017;
- [3] BEER, Ferdinand P.; JOHNSTON JR., E. Russell. **Resistência dos materiais**. 3º Ed. São Paulo: Makron Books, 1995.652p;
- [4] HIBBELER, Russel Charles. **Resistência dos Materiais**. 7º edição, São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010;
- [5] Rui Vasco; **Soldadura**; Departamento de Engenharia Mecânica – Universidade Eduardo Mondlane; Moçambique; Maputo; 2005;
- [6] Catálogo técnico Arcelor Mittal. **Soluções em Aço** para Construção Civil, Indústria e Agronegócio;
- [7] SOUBE, Gustavo. **Modelagem paramétrica de pórticos rolantes**: estabilidade estrutural e otimização. São Paulo. 2005;
- [8] Catálogo 2018 **Equipamentos e acessórios de elevação**.
- [9] Mithá, Omar, **Análise de Projectos de Investimento**, Escoar Editora, Lisboa, 2009