



UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE ENGENHARIA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA



JUSSILAINE FERNANDES LEMES

DIMENSIONAMENTO DE UMA PONTE ROLANTE PARA CARGA MÁXIMA DE
CINQUENTA TONELADAS UTILIZANDO SOFTWARE LIVRE SCILAB

DOURADOS – MS

2023

JUSSILAINE FERNANDES LEMES

DIMENSIONAMENTO DE UMA PONTE ROLANTE PARA CARGA MÁXIMA DE
CINQUENTA TONELADAS UTILIZANDO SOFTWARE LIVRE SCILAB

Trabalho apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD, como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Augusto Salomão Bornschlegell

Área de concentração: 3.05.04.00-7 – Engenharia Mecânica

DOURADOS/MS

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

L551d Lemes, Jussilaine Fernandes
DIMENSIONAMENTO DE UMA PONTE ROLANTE PARA CARGA MÁXIMA DE
CINQUENTA TONELADAS UTILIZANDO SOFTWARE LIVRE SCILAB [recurso eletrônico]
/ Jussilaine Fernandes Lemes. -- 2023.
Arquivo em formato pdf.

Orientador: Augusto Salomão Bornschlegell.
TCC (Graduação em Engenharia Mecânica)-Universidade Federal da Grande
Dourados, 2023.

Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:
<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

1. Ponte Rolante. 2. Dimensionamento. 3. ABNT NBR 8400:2019. I. Bornschlegell,
Augusto Salomão. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

ANEXO D - AVALIAÇÃO FINAL DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aluno: JUSSILAINE FERNANDES LEMES

Título do trabalho e subtítulo (se houver): DIMENSIONAMENTO DE UMA PONTE ROLANTE PARA CARGA MÁXIMA DE CINQUENTA TONELADAS UTILIZANDO SOFTWARE LIVRE SCILAB.

BANCA EXAMINADORA

1. Presidente (orientador):

Prof. Dr. Augusto Salomão Borschlegell, Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD

2. Membro:

Prof. Dr. Rodrigo Borges Santos, Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD

3. Membro:

Prof. Dr. Rafael Ferreira Gregolin, Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD

De acordo com o grau final obtido pelo aluno, nós da banca examinadora, declaramos **APROVADA** (Aprovado/Reprovado) a aluna acima identificada, na componente curricular Trabalho de Conclusão de Curso (TCC-II) de Graduação no Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal da Grande Dourados.

Dourados, 11 de Setembro de 2023.

Prof. Dr. Augusto Salomão Borschlegell

Prof. Dr. Rodrigo Borges Santos

Prof. Dr. Rafael Ferreira Gregolin

À minha família.

AGRADECIMENTOS

O desenvolvimento deste trabalho de conclusão de curso contou com a ajuda e apoio de diversas pessoas, dentre as quais agradeço:

Ao Professor Dr. Augusto S. Bornschlegell pela paciência e auxílio necessário para a elaboração deste projeto.

Aos demais professores do curso de Engenharia Mecânica que através dos seus ensinamentos permitiram que eu pudesse hoje estar concluindo este trabalho.

Aos meus pais e irmãos que me incentivaram e apoiaram a cada momento.

Aos meus amigos pela compreensão das reclamações e incentivo para a conclusão.

RESUMO

Equipamentos de elevação e transporte são escolhidos e dimensionados de acordo com as necessidades e restrições físicas. Devido a sua versatilidade e robustez, permitindo a movimentação de cargas longitudinalmente, transversalmente e verticalmente, a ponte rolante é um dos equipamentos mais empregados dentro das indústrias. Neste sentido, a proposta deste trabalho é dimensionar uma ponte rolante do tipo dupla viga com capacidade de movimentação de carga de até 50 toneladas, com vão livre de 10 metros e altura de elevação de 5 metros. O procedimento de cálculo estrutural é baseado na norma ABNT NBR 8400:2019 e ABNT NBR 10084:2020, as quais estabelecem os critérios mínimos para o dimensionamento de equipamentos para transporte e elevação de carga e define os requisitos mínimos para o projeto de estruturas de aço, respectivamente. Após a adoção de premissas, o dimensionamento e análise de critérios estruturas para os equipamentos que compõem a estrutura foram realizadas por meio do software Livre Scilab. Por fim, o objetivo principal deste trabalho foi alcançado ao dimensionar uma ponte rolante concentrando-se no dimensionamento dos componentes do equipamento e avaliação dos carregamentos e solicitações atuantes na estrutura que foram satisfeitos.

Palavras-chave: Ponte Rolante. Dimensionamento. ABNT NBR 8400:2019.

ABSTRACT

Lifting and transport equipment is chosen and sized according to needs and physical constraints. Due to its versatility and robustness, allowing the movement of loads longitudinally, transversely and vertically, the overhead crane is one of the most used equipment within industries. In this sense, the work proposal is the design of a double girder overhead crane with capacity to handle loads of up to 50 tons, with a free span of 10 meters and a lifting height of 5 meters. The structural calculation procedure is based on the ABNT NBR 8400:2019 and ABNT NBR 10084:2020 standards, which establish the minimum criteria for sizing equipment for transport and lifting loads and define the minimum requirements for the design of steel structures , respectively. After adopting assumptions, the design and analysis of structural criteria for the equipment that make up the structure were carried out using the free Scilab software. Finally, the main objective of this work was achieved by dimensioning an overhead crane, focusing on the dimensioning of the equipment components and evaluation of the loads and requests acting on the structure that were satisfied.

Keywords: Overhead Crane. Design. ABNT NBR 8400:2019.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Ponte Rolante Tipo V da DEMAG.	2
Figura 2: Principais grupos de máquinas de elevação e transporte.	6
Figura 3: Constituintes da ponte rolante.	7
Figura 4: Ponte Rolante univiga apoiada.	8
Figura 5: Ponte Rolante apoiada dupla-viga.	9
Figura 6: Ponte Rolante suspensa univiga.	9
Figura 7: Ponte Rolante suspensa dupla-viga.	9
Figura 8: Ponte Rolante tipo console.	10
Figura 9: Componentes de uma ponte rolante.	10
Figura 10: Rodas da ponte rolante.	11
Figura 11: Fluxograma de Dimensionamento.	12
Figura 12: Dados para dimensionamento do cabo.	19
Figura 13: Fator de Segurança do cabo.	20
Figura 14: Recomendação do fabricante para dimensionamento do tambor e polia.	20
Figura 15: Dados de entrada.	22
Figura 16: Fluxograma dimensionamento cabo.	23
Figura 17: Fluxograma dimensionamento polias.	23
Figura 18: Fluxograma dimensionamento tambor.	24
Figura 19: Fluxograma dimensionamento viga.	25
Figura 20: Fluxograma dimensionamento motores.	26

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Categorias de resistência à tração para cabos.	13
Tabela 2: Equacionamento para dimensionamento do cabo.	14
Tabela 3: Equacionamento para dimensionamento de polias e tambor.	15
Tabela 4: Equacionamento para análise de critérios estruturais do tambor.	16
Tabela 5: Equacionamento para análise de critérios estruturais da viga.	17
Tabela 6: Equacionamento para dimensionamento de polias e tambor.	18
Tabela 7: Fator de correção de voltagem.	21
Tabela 8: Fatores de serviço para motores de série operados em 230V, ou motores shunt em acionamentos de tensão ajustável.	21

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Classificação dos cabos.....	14
Quadro 2: Resultados.	27

LISTA DE SÍMBOLOS E SIGLAS

Item	Unidade	Descrição
a	mm	Altura da ranhura
A_c	m ²	Área de compressão do cabo
A_s	m ²	Área de cisalhamento
A_{sv}	m ²	Área de cisalhamento viga
b	m	Base da viga
CS_{cabo}	-	Fator de segurança do cabo
CS_{estr}	-	Fator de segurança estrutural
DAF	-	Condição de operação
D_c	mm	Diâmetro do cabo
D_p	mm	Diâmetro da polia
D_t	mm	Diâmetro do tambor
D_{ti}	mm	Diâmetro interno do tambor
E_c	-	Eficiência combinada para mancais de deslizamento
E_p	-	Eficiência da polia
E_r	-	Eficiência do motor
F_p	N	Carga suportada pelo cabo
H	m	Altura de elevação
H_v	m	Altura da viga
h	mm	Espessura do tambor
hp	hp	Potência do motor
i	-	Taxa de redução
I	m ⁴	Momento de Inércia
I_v	m ⁴	Momento de Inércia da viga
J	m ⁴	Momento de Inércia Polar
K_s	-	Fator de serviço
K_v	-	Fator de correção de voltagem
L	m	Vão livre
L_t	mm	Comprimento mínimo do tambor
m	-	Número de polias móveis
M	N.m	Momento Fletor

M_v	N.m	Momento fletor na viga
M_x	-	Coefficiente de majoração
N_p	-	Ganho mecânico
n_{engr}	-	Número de engrenamentos
n_m	rpm	Rotação do motor
n_p	-	Número de polias
N_{ran}	-	Número de ranhuras
n_t	rpm	Rotação do tambor
N_v	-	Número de vigas
N_e	-	Número de enrolamentos
p	mm	Passo do cabo
P_{estr}	N	Carga exercida na estrutura
P_p	N	Carga da própria estrutura
P_v	N	Carga na viga
P_c	N	Carga de elevação
P_{ESTR}	N	Carga total
S_c	MPa	Tensão de compressão do cabo
S_{cv}	MPa	Tensão de cisalhamento viga
S_{mf}	MPa	Tensão de Momento Fletor
S_{mfv}	MPa	Tensão de momento fletor da viga
S_{mt}	MPa	Tensão de Momento Torsor
S_s	MPa	Tensão de cisalhamento
S_y	MPa	Tensão de escoamento do material selecionado
SY	MPa	Tensão de Cisalhamento puro
T	N.m	Momento torsor
T_f	N.m	Torque do freio
T_m	N.m	Torque do motor
T_t	N.m	Torque do tambor
τ	MPa	Tensão de cisalhamento na flexão
V_l	m/s	Velocidade de elevação de carga
V_c	m/s	Velocidade de elevação do cabo
V_t	m/s	Velocidade de translação

w_m	rad/s	Rotação do motor
W_C	N	Carga do carro (com todos os equipamentos)
W_L	N	Carga a ser içada
y	m	Distância centroidal
y_v	m	Distância centroidal da viga
AISE	-	Association of Iron and Steel Engineers

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. OBJETIVO	2
1.1.1. Objetivos específicos.....	2
1.2. ESTRUTURA DO TRABALHO	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1. PROJETO DE MÁQUINAS	4
2.2. ELEMENTOS DE MÁQUINAS	4
2.3. MOVIMENTAÇÃO DE CARGA.....	5
2.4. MÁQUINAS DE ELEVAÇÃO E TRANSPORTE	5
2.5. PONTES ROLANTES	7
2.5.1. Tipos de pontes rolantes	7
2.5.2. Componentes da ponte rolante	10
3. METODOLOGIA.....	12
3.1. EQUACIONAMENTO.....	13
3.1.1. Cabo.....	13
3.1.2. Polias e Tambor	15
3.1.3. Critérios estruturais do tambor	16
3.1.4. Viga	17
3.1.5. Motor.....	17
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	19
4.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	19
4.2. DIMENSIONAMENTO.....	22
5. CONCLUSÃO.....	29
REFERÊNCIAS	30
APÊNDICE A: Programação Em Scilab Utilizada Para Dimensionamento ..	33
ANEXO A – Bill Of Materials (BoM).....	37

ANEXO B – Massa Dos Componentes	38
--	-----------

1. INTRODUÇÃO

A mecanização do processo produtivo vem evoluindo com o passar dos anos e as indústrias de transformação e produção necessitam de mecanismos de transporte de cargas, desde a entrada de matéria-prima até o escoamento dos bens produzidos, para aumentar sua competitividade no mercado onde atuam (SOARES, 2011).

Tendo em mente que a maior perda em um processo produtivo é devido a movimentação de carga, seja ela de matéria-prima, peças, materiais, componentes ou demais equipamentos, esta operação de movimentação e elevação de carga ou material deve ser visto como um fator de extrema importância para uma empresa considerando cumprimento de prazo, diminuição de esforços físicos e maior segurança durante a ação de movimentação e elevação, ou seja, considerando a questão de ergonomia, além de fornecer um ganho de qualidade e maior satisfação do cliente (ECKERT, 2019).

Esses equipamentos de transporte são escolhidos e dimensionados de acordo com as necessidades e restrições físicas (SOARES, 2011). Desta forma, existem diversas máquinas utilizadas para transporte e elevação de cargas, tais como: correias transportadoras, pontes rolantes, pórticos rolantes, empilhadeiras móveis, talhas, transportadores pneumáticos (ECKERT, 2019).

Entretanto, devido a sua versatilidade e robustez, com capacidade para movimentar cargas, materiais e equipamentos em diversas direções (longitudinal, transversal e vertical), a ponte rolante é um dos equipamentos mais empregados no transporte e elevação de cargas. Além disso, sua forma construtiva e configuração satisfazem as necessidades de várias operações, principalmente em siderúrgicas, empresas metalmeccânicas e portos, pois são de fácil manuseio, utilizadas em altos ciclos de trabalho e com baixa necessidade de manutenção (SORDI, 2016). Na Figura 1 é apresentada uma ponte rolante da empresa DEMAG.

Figura 1: Ponte Rolante Tipo V da DEMAG.



Fonte: DEMAG, 2021.

1.1. OBJETIVO

O objetivo principal deste trabalho é dimensionar uma ponte rolante para içamento de uma carga de até 50 toneladas, com vão livre de 10 metros e altura de elevação de 5 metros. Portanto, a análise se concentra no dimensionamento dos componentes do equipamento e avaliação dos carregamentos e solicitações atuantes na estrutura.

1.1.1. Objetivos específicos

De modo a atender o principal objetivo deste trabalho, serão adotados os seguintes objetivos específicos:

- a) Revisão bibliográfica do tema compreendendo os conceitos de movimentação de carga e os principais componentes e elementos de uma ponte rolante;
- b) Analisar as normas pertinentes ao tema, ABNT NBR 8400:2019 e ABNT NBR 10084:2020, para aplicação de suas diretrizes no projeto da ponte rolante;
- c) Classificar e definir as características gerais da ponte rolante, bem como as restrições de projeto;

d) Avaliar as solicitações atuantes em componentes específicos e dimensiona-los de acordo com as normas vigentes.

1.2. ESTRUTURA DO TRABALHO

A estrutura do trabalho seguirá a seguinte forma:

No capítulo 2 tem -se o suporte técnico sobre o funcionamento das Pontes Rolantes e seus componentes.

No capítulo 3 apresenta-se a Metodologia desenvolvida para o dimensionamento do equipamento.

O capítulo 4 traz a apresentação dos resultados e discussões e o Capítulo 5 a conclusão da pesquisa.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Com base na literatura encontrada, este capítulo apresenta os tipos de pontes rolantes existentes, seus componentes e as equações utilizadas para dimensionamento do equipamento partindo das condições iniciais pré-estabelecidas.

2.1. PROJETO DE MÁQUINAS

Segundo Norton (2013), “o objetivo final do projeto de máquinas é dimensionar e dar forma às peças (elementos de máquinas) e escolher os materiais e os processos de manufatura apropriados, de modo que a máquina resultante possa desempenhar a função desejada sem falhar.”

Desta forma, o equipamento deve ser projetado com objetivo de atender as solicitações e restrições da atividade a ser executada e o local de instalação. Além disso, devem satisfazer os requisitos de segurança, custos de fabricação e manutenção, ergonomia, meio ambiente e facilidades (REMOR, 2012).

Entretanto, para assegurar a funcionalidade do equipamento, o seu dimensionamento, projeto e fabricação devem estar de acordo com as normas e critérios que determinam as condições necessárias para o funcionamento do equipamento. As normas ABNT NBR 8400:2019 (parte 1 a 5) e ABNT NBR 10084:2020 servem de base para o dimensionamento de uma ponte rolante.

2.2. ELEMENTOS DE MÁQUINAS

Norton (2013) define que “as **peças interrelacionadas** também podem ser chamadas, às vezes, de **elementos da máquina** (...). A noção de **trabalho útil** é básica para a função de uma máquina, existindo quase sempre alguma transferência de energia envolvida.”

Os elementos de máquinas podem ser classificados em grupos conforme sua aplicação. Desta forma, dentre os diversos elementos de máquinas existentes, podemos citar os seguintes (EEEP, 2011):

- **Elementos de Fixação:** parafusos, porcas, arruelas, chavetas, pinos e cavilhas, anéis, estrias, contrapinos, solda, entre outros.

- **Elementos de Transmissão:** correias e polias, engrenagens, correntes, acoplamentos, cames.
- **Elementos de Apoio:** mancais, guias.
- Outros: molas, eixos.

Segundo Remor (2012), a seleção de um elemento de máquina é influenciada por algumas características deste elemento, dentre elas a resistência, utilidade, confiabilidade, custo e peso.

Sendo assim, o correto dimensionamento dos elementos de máquina, de forma que os mesmos tenham resistência e assegurem o bom funcionamento do equipamento, é fundamental para o desenvolvimento de um projeto, estrutura ou componente de máquina (REMOR, 2012).

2.3. MOVIMENTAÇÃO DE CARGA

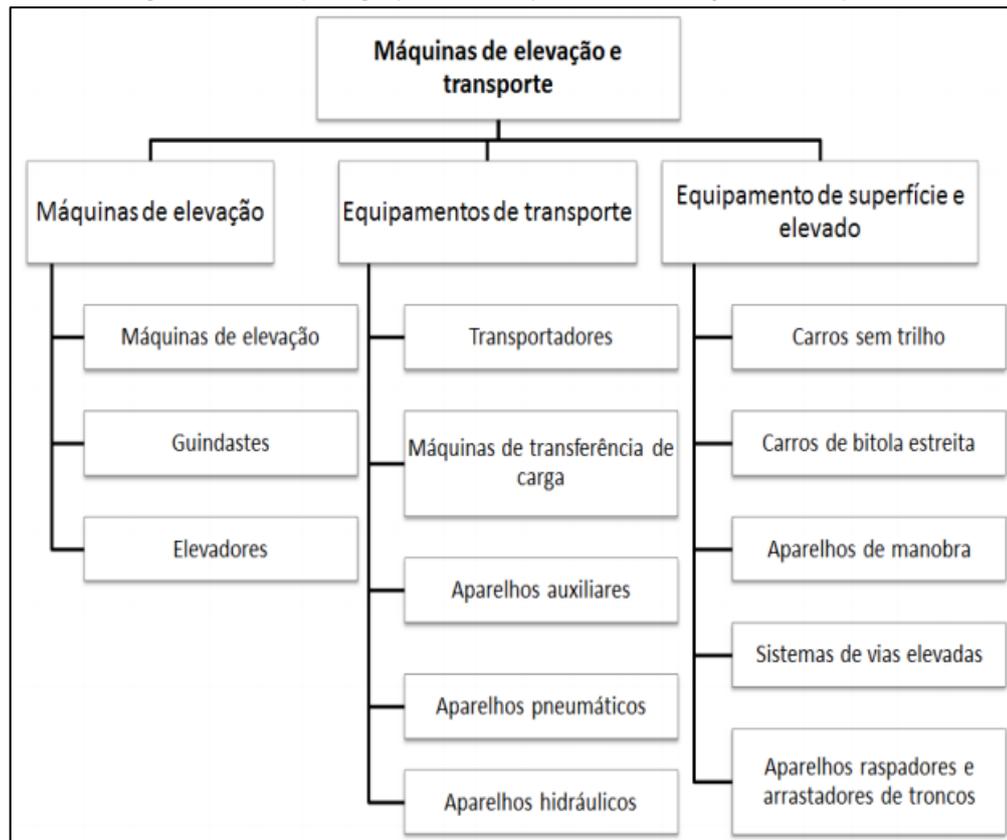
Segundo Passos (2011), “a técnica de movimentação de cargas compreende as operações de elevação, transporte e descarga de objetos e/ou materiais, e pode ser efetuada manualmente ou com recurso a sistemas mecânicos”.

Portanto, trata-se de um processo utilizado para içar, transportar e deslocar cargas com auxílio de máquinas, equipamentos ou até mesmo manualmente, com objetivo de facilitar o transporte, montagem e armazenamento de materiais ou cargas, reduzindo ou eliminando esforços físicos intensos e movimentos repetitivos.

2.4. MÁQUINAS DE ELEVAÇÃO E TRANSPORTE

Os sistemas de movimentação de cargas mecânicos permitem a movimentação de cargas de um ponto para outro de modo planejado e seguro, com baixos níveis de esforços humanos. Desta forma, segundo Rudenko (1976), as máquinas de elevação e transporte podem ser classificadas, de acordo com as características de seus projetos, conforme a Figura 2.

Figura 2: Principais grupos de máquinas de elevação e transporte.



Fonte: RUDENKO, 1976.

Ainda de acordo com Rudenko (1976), cada grupo desses equipamentos é definido, de forma resumida, como:

“Equipamento de elevação é o grupo de máquinas com mecanismo de elevação, com a finalidade de mover cargas, principalmente em lotes.

Equipamento transportador é o grupo de máquinas que pode não ter mecanismo de elevação, movendo cargas num fluxo contínuo.

Equipamento de superfície e elevado é o grupo de máquinas que também pode não ser provido de mecanismo de elevação e que usualmente manuseia cargas em lotes.” (RUDENKO, 1976)

Conforme Brasil (1985), as máquinas de levantamento são destinadas à movimentação horizontal e vertical de equipamentos e materiais em indústrias e canteiros de obras.

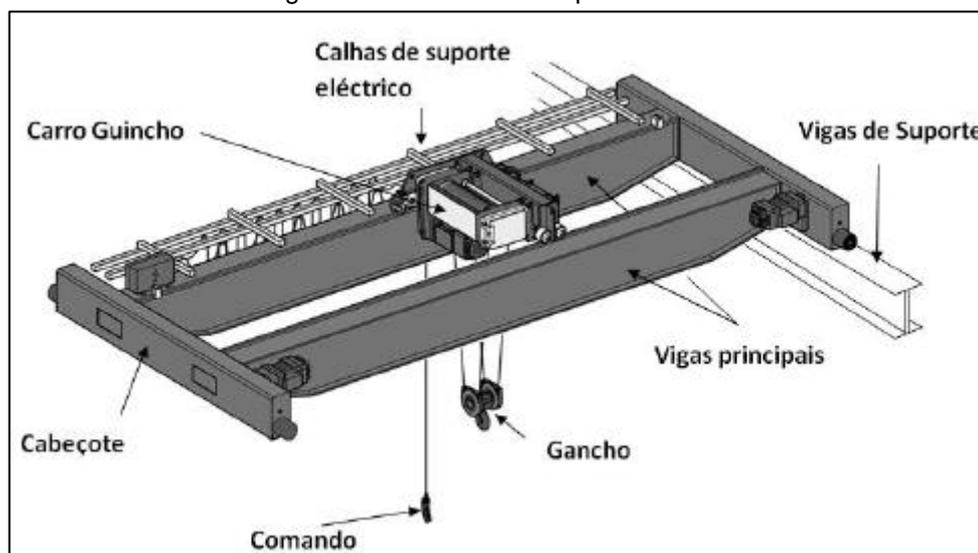
2.5. PONTES ROLANTES

As pontes rolantes são equipamentos empregados no içamento de objetos, por meio de um guincho montado em uma estrutura móvel, chamada de carro guincho, permite se mover horizontalmente sob carris montado em uma ou duas vigas.

As extremidades da(s) viga(s) de apoio (vigas principais) da ponte são apoiadas no cabeçote com rodas que se movimentam sobre carris. As pontes rolantes geralmente estão acopladas nas paredes laterais e paralelas de indústrias e ficam situadas no nível superior da construção (SOARES, 2012).

Desta forma, a estrutura pode percorrer o comprimento total do edifício, enquanto o carro trolley percorre toda a largura do mesmo, cobrindo toda a área da construção sem interferir no funcionamento e disposição do restante dos equipamentos da instalação. Na Figura 3 é demonstrado uma ponte rolante dupla viga e seus constituintes.

Figura 3: Constituintes da ponte rolante.



Fonte: SOARES, 2012.

2.5.1. Tipos de pontes rolantes

Para cada aplicação utiliza-se um equipamento ideal, as pontes rolantes seguem esse mesmo preceito. Conforme suas características construtivas, as pontes rolantes podem ser classificadas em: ponte rolante apoiada univiga ou dupla-viga, ponte rolante suspensa e ponte do tipo console (PASSOS, 2011).

2.5.1.1. Ponte rolante apoiada

Esse tipo de ponte se desloca por cima dos trilhos do caminho de rolamento, sendo sustentada pelas colunas dos prédios ou colunas de aço especialmente projetadas para a estrutura do caminho. Esse modelo de ponte rolante possui um vão de até 30 metros e são adaptáveis aos locais de instalação, costumam ser empregadas em locais com altura abaixo sob o caminho de rolamento (SORDI, 2016).

- **Univiga**

A ponte rolante univiga, mostrada na Figura 4, é composta por duas cabeceiras, uma única viga e um ou dois carros trolley que sustentam a(s) talha(s). O carro trolley corre na aba inferior da viga da ponte rolante. Conforme a capacidade do vão, as vigas principais podem ser constituídas de viga tipo “i” laminada ou viga tipo “caixão” soldada. Geralmente este tipo de ponte rolante é utilizada para capacidade de cargas de até 15 toneladas (PASSOS, 2011).

Figura 4: Ponte Rolante univiga apoiada.

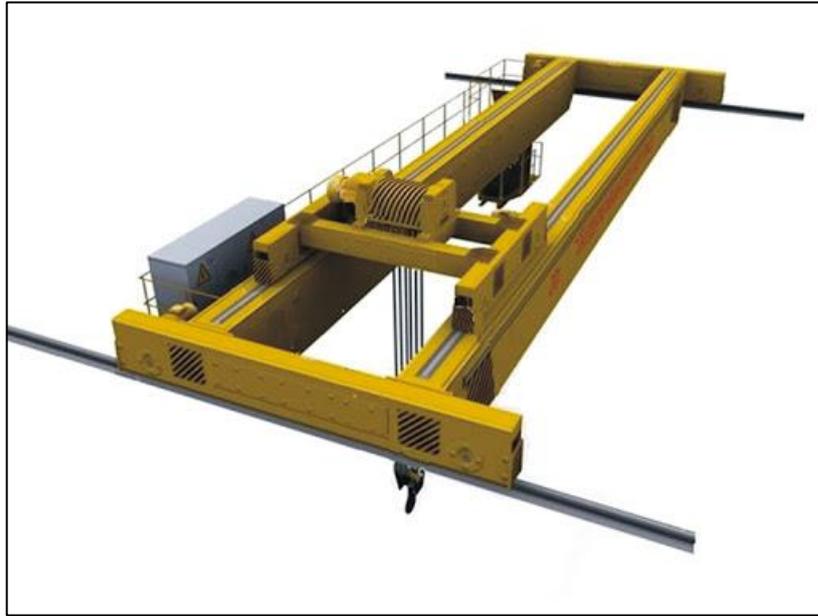


Fonte: BRITO *et al*, 2017.

- **Dupla-viga**

A ponte rolante dupla-viga, Figura 5 é composta por duas cabeceiras, duas vigas e um ou dois carros trolley que sustentam a(s) talha(s). O carro trolley corre em trilhos que normalmente são fixados na parte superior da viga da ponte rolante. Geralmente são fabricadas para suportar até 50 toneladas (PASSOS, 2011).

Figura 5: Ponte Rolante apoiada dupla-viga.



Fonte: S.G.O., 2021.

2.5.1.2. Ponte rolante suspensa

A viga principal corre por baixo dos trilhos das vigas do caminho de rolamentos, ou seja, se deslocando na aba inferior da viga de rolamento que é montada diretamente na estrutura do prédio. Geralmente sustentam até 10 toneladas (PASSOS, 2011). Estes tipos de ponte rolante também pode ser univiga ou dupla-viga.

Figura 6: Ponte Rolante suspensa univiga.



Fonte: ABUS, 2021.

Figura 7: Ponte Rolante suspensa dupla-viga.

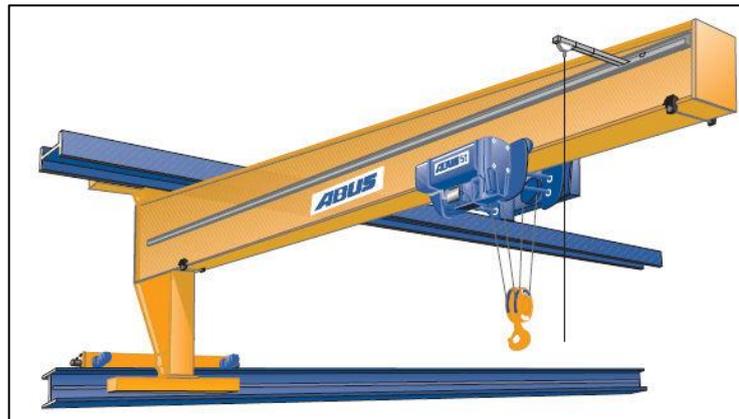


Fonte: ABUS, 2021.

2.5.1.3. Ponte rolante tipo console

Este tipo de ponte rolante, também chamada de ponte rolante de parede (Figura 8), se desloca em um nível próprio, abaixo das grandes pontes rolantes, podendo atender mais de um local de trabalho. As pontes rolantes do tipo console geralmente possuem capacidades de até 5 toneladas e comprimentos de lança de até 10 m.

Figura 8: Ponte Rolante tipo console.

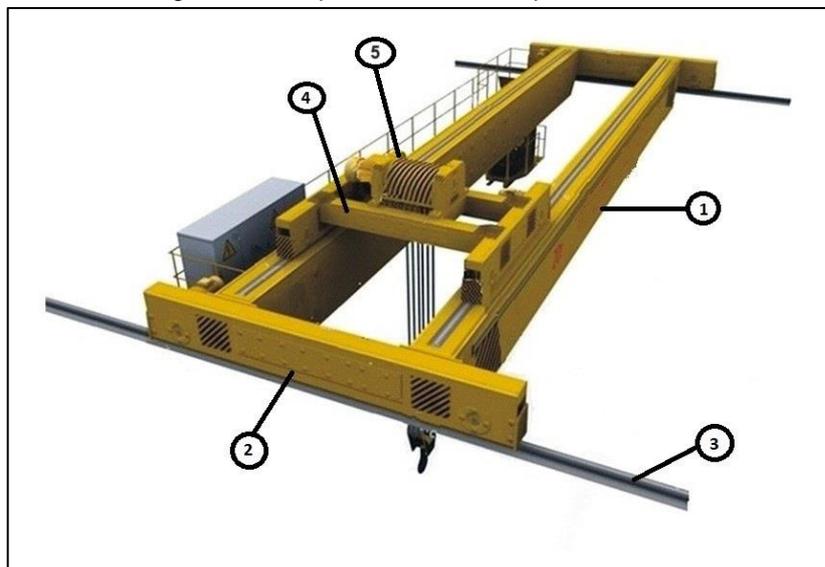


Fonte: ABUS, 2021.

2.5.2. Componentes da ponte rolante

Pontes rolantes possuem diversos componentes que desempenham uma determinada função, sendo eles:

Figura 9: Componentes de uma ponte rolante.



Fonte: SS ENGENHARIAS, 2022.

1. Viga Principal

Estrutura principal da ponte rolante (item 1 da Figura 9), sendo nela onde o conjunto trolley e a talha se movimentam e onde se concentra um grande esforço fletor e cisalhamento.

2. Cabeceiras

Localizadas nas extremidades da viga principal (item 2 da Figura 9), as cabeceiras são responsáveis pelo movimento da viga principal da ponte sobre o caminho de rolamento.

3. Caminho de rolamento

O caminho de rolamento é a base por onde as cabeceiras se movem (item 3 da Figura 9).

4. Carro

O carro ou trolley (item 4 da Figura 9) é responsável pelo movimento vertical e horizontal da carga, sendo composto por uma talha que permite o içamento do material.

5. Talha

A talha é o equipamento responsável pelo içamento e locomoção da carga em uma direção. Constituída basicamente por um motor fixado a uma estrutura, um tambor para o movimento do cabo de aço, um gancho para fixar a carga, o cabo de aço, e um sistema de controle de operação.

6. Rodas

Acopladas nas cabeceiras da ponte rolante, geralmente são fabricadas de aço e variam de acordo com as dimensões do trilho no qual irão se movimentar (Figura 10).

Figura 10: Rodas da ponte rolante.

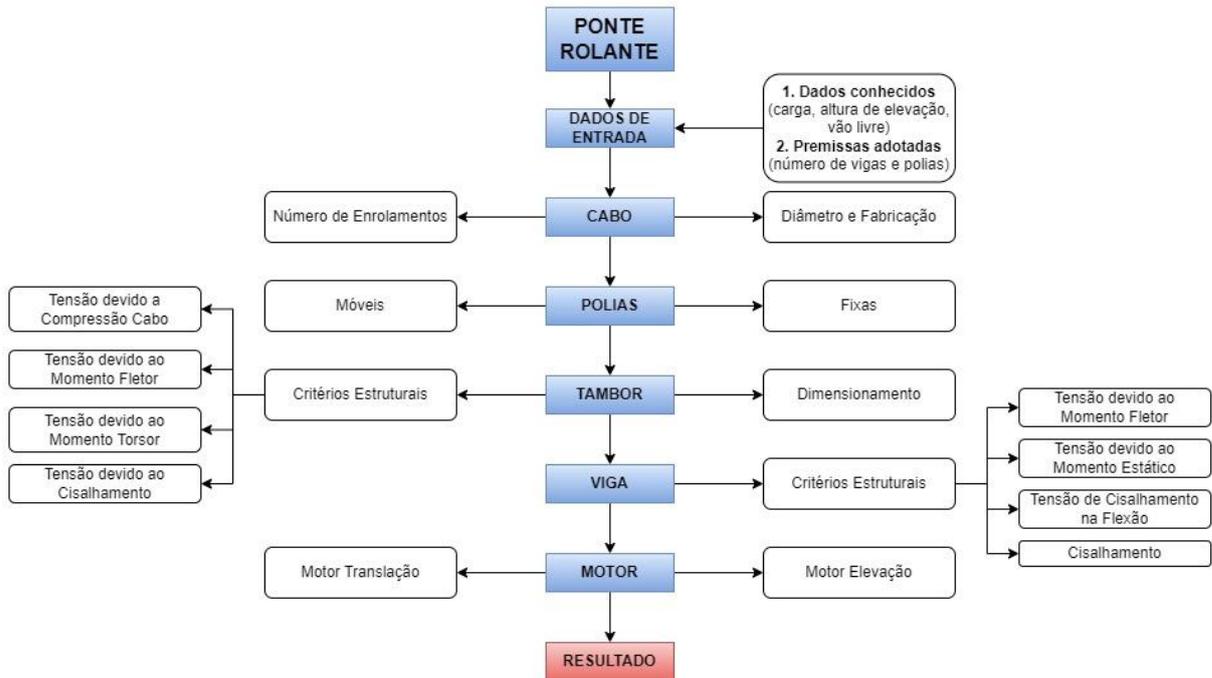


Fonte: MOVISERVI, 2022.

3. METODOLOGIA

A metodologia utilizada para o dimensionamento do equipamento baseia-se na norma ABNT NBR 8400:2019, demais normas pertinentes e manuais de fabricantes de componentes, seguindo o fluxograma descrito na Figura 11.

Figura 11: Fluxograma de Dimensionamento.



Fonte: Autoria própria.

Os dados de entrada do Projeto são:

- Carga de içamento: 50 toneladas;
- Vão livre: 10 metros;
- Altura de elevação: 5 metros;
- Componentes a serem dimensionados ou selecionados: gancho (moitão), polias, cabos, tambor, mancais, motores de elevação e translação, freio, caixa(s) de redução, estrutura (vigas e cabeceira), amortecedor de impacto, trilho e roda.

Demais considerações são realizadas durante o dimensionamento do projeto.

3.1.EQUACIONAMENTO

Nesta seção são apresentadas as equações utilizadas no dimensionamento do projeto da ponte rolante.

3.1.1. Cabo

Convencionalmente os cabos de aço podem ser fabricados em algumas categorias de resistência à tração, conforme Tabela 1, as siglas PS (*Plowed Steel*), IPS (*Improved Plowed Steel*), EIPS (*Extra Improved Plowed Steel*) e EEIPS (*Extra Extra Improved Plowed Steel*) referem-se aos primeiros estágios do desenvolvimento do cabo de aço e permanecem até hoje.

Tabela 1: Categorias de resistência à tração para cabos.

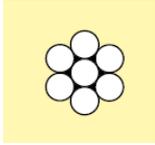
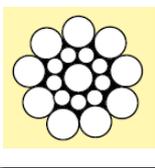
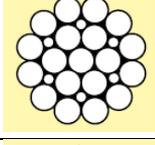
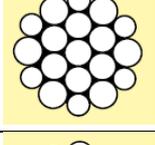
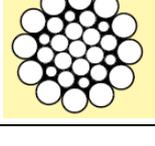
Sigla	Correspondência em N/mm²
PS	1370 – 1770
IPS	1570 – 1960
EIPS	1770 – 2160
EEIPS	1960 – 2160
CIMAX	1960 – 2360

Fonte: CIMAF, 2012.

Em relação à composição, os cabos podem ser classificados como Simples, *Seale*, *Filler*, *Warrington* e *Warrington-Seale*, de acordo com o Quadro 1:

Outro fator de extrema importância é o tipo de alma do cabo, podendo ser alma de fibra ou de aço.

Quadro 1: Classificação dos cabos.

	<p>Composição Simples</p> <p>Todos os arames possuem o mesmo diâmetro</p>
	<p>Composição Seale</p> <p>Pelo menos duas camadas adjacentes com o mesmo número de arames. Arames da camada externa possuem diâmetro maior para aumentar a resistência ao desgaste provocado pelo atrito</p>
	<p>Composição Filler</p> <p>Arames muito finos entre duas camadas. Aumenta a área de contato, a flexibilidade, resistência ao amassamento e reduz o desgaste entre os arames.</p>
	<p>Composição Warrington</p> <p>Pelo menos uma camada constituída de arames de dois diâmetros diferentes e alternados. Boa resistência ao desgaste e boa resistência à fadiga.</p>
	<p>Composição Warrington-Seale</p> <p>Composição formada pela aglutinação de duas composições. Alta resistência à abrasão conjugado com alta resistência à fadiga de flexão.</p>

Fonte: CIMAF, 2012.

Para o cálculo e dimensionamento de cabos para elevação de cargas é necessário seguir os seguintes equacionamentos, conforme

Tabela 2:

Tabela 2: Equacionamento para dimensionamento do cabo.

Item	Equação	Número Equação
W_L – Força Peso/carga (N)	$W_L = m \cdot a$	(1)
N_p – Ganho Mecânico ¹	$N_p = n_p + 1$	(2)
N_p – Ganho Mecânico ²	$N_p = n_p$	(3)
P_c – Carga de elevação (N)	$P_c = \frac{W_L}{N_p \cdot E_p^{n_p}}$	(4)
F_p - Carga suportada pelo cabo (N)	$F_p = P_c \cdot DAF \cdot CS_{cabo}$	(5)
V_c - Velocidade de elevação do cabo (m/s)	$V_c = \frac{N_p \cdot V_l}{N_e}$	(6)

Fonte: Autoria própria, 2023.

Sendo,

 m – Massa (kg);¹ Cabo saindo de polias móveis² Cabo saindo de polias fixas

a – Aceleração da gravidade (m/s²);

DAF – penalização para o carregamento referente a condição de operação:

Fábrica = 1,15, Onshore = 1,5, Offshore = 2,0 e Subsea = 2,5;

E_p – Eficiência da polia;

n_p – Número de polias;

CS_{cabo} – Fator de segurança do cabo;

V_l – Velocidade de elevação (m/s);

N_e – Número de enrolamentos.

3.1.2. Polias e Tambor

Para o dimensionamento de tambores e polias para pontes de elevação foram utilizadas as seguintes equações, conforme Tabela 3:

Tabela 3: Equacionamento para dimensionamento de polias e tambor.

Item	Equação	Número Equação
D_p – Diâmetro mínimo da polia (mm) ³	$D_p = 31 \cdot D_c$	(7)
D_t - Diâmetro do tambor (mm)	$D_t = 31 \cdot D_c$	(8)
N_{ran} – Número de ranhuras	$N_{ran} = \frac{N_p \cdot H}{N_e \cdot \pi \cdot D_t} + 2 \cdot N_e$	(9)
p – Passo do cabo (mm)	$p = 1,2 \cdot D_c$	(10)
L_t - Comprimento mínimo do tambor (mm)	$L_t = N_{ran} \cdot p$	(11)
a – Altura da ranhura (mm)	$a = \frac{7}{16} \cdot D_c$	(12)
h - Espessura do tambor (mm)	$h = \frac{D_t}{2} - \frac{7}{16} \cdot D_c - \frac{D_{ti}}{2}$	(13)
P_{ESTR} – Carregamento total (N)	$P_{ESTR} = P_{estr} \cdot N_e$	(14)
P_{estr} – Carga exercida na estrutura (N)	$P_{estr} = P_c \cdot DAF \cdot CS_{cabo}$	(15)

Fonte: Autoria própria, 2023.

Sendo,

D_c – Diâmetro do cabo (mm);

H – Altura de elevação (m);

D_{ti} – Diâmetro interno do tambor (mm);

³ A constante 31 é retirada do catálogo da CIMAF (2012), que recomenda que o diâmetro da polia ou do tambor seja 31 vezes o diâmetro do cabo.

3.1.3. Critérios estruturais do tambor

Para os cálculos e validação dos critérios estruturais do tambor foram utilizadas as seguintes equações, conforme Tabela 4:

Tabela 4: Equacionamento para análise de critérios estruturais do tambor.

Item	Equação	Número Equação
A_c – Área de compressão do cabo (m ²)	$A_c = h \cdot p$	(16)
S_c – Tensão devido a compressão do cabo (MPa)	$S_c = \frac{P_{ESTR}}{A_c}$	(17)
Critério a ser atendido	$S_c < S_y$	(18)
M – Momento Fletor (N.m)	$M = \frac{2 \cdot P_{ESTR} \cdot L_t}{4}$	(19)
y – Distância centroidal (m)	$y = \frac{D_t}{2}$	(20)
I – Momento de Inércia (m ⁴)	$I = \frac{\pi \cdot (D_t^4 - D_{ti}^4)}{64}$	(21)
S_{mf} – Tensão devido a Momento Fletor (MPa)	$S_{mf} = \frac{M \cdot y}{I}$	(22)
Critério a ser atendido	$S_{mf} < S_y$	(23)
T – Momento Torsor (N.m)	$T = \frac{P_{ESTR} \cdot D_t}{2}$	(24)
J – Momento de Inércia Polar (m ⁴)	$J = \frac{I}{2}$	(25)
S_{mt} – Tensão de Momento Torsor (MPa)	$S_{mt} = \frac{T \cdot y}{J}$	(26)
SY – Tensão de cisalhamento puro (MPa)	$SY = \frac{S_y}{\sqrt{3}}$	(27)
Critério a ser atendido	$S_{mt} < SY$	(28)
A_s – Área de cisalhamento (m ²)	$A_s = \frac{\pi \cdot (D_t^2 - D_{ti}^2)}{4}$	(29)
S_s – Tensão de cisalhamento (MPa)	$S_s = \frac{P_{ESTR}}{A_s}$	(30)
Critério a ser atendido	$S_s < SY$	(31)

Fonte: Autoria própria, 2023.

Sendo,

S_y – Tensão de escoamento do material selecionado (MPa);

h – Espessura do tambor (mm).

3.1.4. Viga

Para os cálculos e validação dos critérios estruturais do tambor foram utilizadas as seguintes equações, conforme Tabela 5 Tabela 4:

Tabela 5: Equacionamento para análise de critérios estruturais da viga.

Item	Equação	Número Equação
P_v – Carga na viga (N)	$P_v = \left(\frac{P_{ESTR} \cdot N_p}{N_v} + P_p \right) \cdot M_x$	(32)
M_v – Momento fletor na viga (N.m)	$M_v = \frac{P_v \cdot L}{4}$	(33)
y_v – Distância centroidal da viga (m)	$y_v = \frac{H_v}{2}$	(34)
I_v – Momento de Inércia da viga (m ⁴)	$I_v = \frac{b \cdot H_v^3}{12}$	(35)
S_{mfv} – Tensão devido a Momento Fletor na viga (MPa)	$S_{mfv} = \frac{M_v \cdot y_v}{I_v}$	(36)
Critério a ser atendido	$S_{mfv} < S_y$	(37)
τ – Tensão de cisalhamento na flexão (MPa)	$\tau = 1,5 \cdot S_{cv}$	(38)
S_{cv} – Tensão de cisalhamento na viga (MPa)	$S_{cv} = \frac{P_v}{A_s}$	(39)
Critério a ser atendido	$S_{cv} < SY$	(40)

Fonte: Autoria própria, 2023.

Coeficiente de Segurança requerido em norma é de 1,5.

M_x – Coeficiente de majoração;

L – Vão livre (m);

b – Base da viga (m);

H_v – Altura da viga (m);

3.1.5. Motor

Para o dimensionamento de motores para ponte rolante foram utilizadas as seguintes equações, conforme Tabela 6:

Tabela 6: Equacionamento para dimensionamento de polias e tambor.

Item	Equação	Número Equação
hp – Potência do motor (hp) ⁴	$hp = \frac{K_s \cdot K_v \cdot V_l [fpm] \cdot W_L [lbf]}{33000 \cdot E_c}$	(41)
E_c - Eficiência combinada para mancais de deslizamento	$E_c = 0,93^{n_{engr}} \cdot 0,98^m$	(42)
E_c - Eficiência combinada para mancais de rolamento	$E_c = 0,97^{n_{engr}} \cdot 0,99^m$	(43)
w_m – Rotação do motor (rad/s)	$w_m = \frac{n_m \cdot 2 \cdot \pi}{60}$	(44)
n_t – Rotação do tambor (rpm)	$n_t = \frac{V_c \cdot 60}{\pi \cdot D_t}$	(45)
i – Taxa de redução	$i = \frac{n_m}{n_t}$	(46)
T_m – Torque do motor (N.m)	$T_m = \frac{hp \cdot E_r}{w_m \cdot i}$	(47)
T_t – Torque do tambor (N.m)	$T_t = \frac{N_e \cdot P_c \cdot D_t}{2}$	(48)
W_C – Peso do carro (N)	$W_C = P_{estrutura\ carro} + P_{moitão} + P_{redutor} + P_{motor} + P_{freio}$	(49)

Fonte: Autoria própria, 2023.

Sendo,

K_s – Fator de serviço;

K_v – Fator de correção de voltagem;

V_l – Velocidade de elevação de carga (m/s);

Para o dimensionamento do motor de translação considerou-se a mesma equação de potência para o motor de elevação, substituindo a carga a ser içada pela carga do carro (W_C).

Para o dimensionamento dos motores para o deslocamento da ponte considerou-se a mesma equação de potência para o motor de elevação, substituindo a carga a ser içada pela carga total do sistema (P_v).

⁴ A constante 31 é retirada do catálogo da CIMAF (2012), que recomenda que o diâmetro da polia ou do tambor seja 31 vezes o diâmetro do cabo.

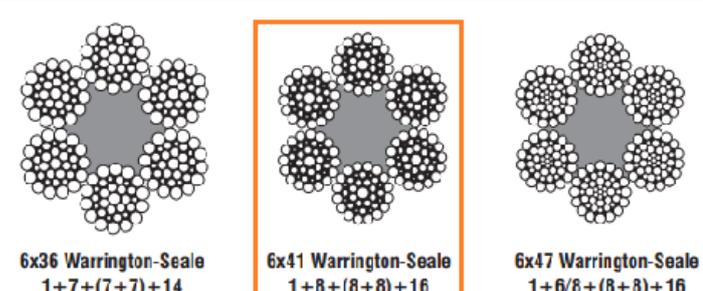
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção são apresentadas as considerações realizadas, materiais e equipamentos adotados e resultados dos cálculos para o dimensionamento da ponte rolante.

4.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Considerando as indicações do fabricante para Cabos de elevação o indicado é o 6x41 *Warrington-Seale*, alma de fibra (AF), torção regular, polido, pré-formado, IPS (CIMAF, 2012). Os dados utilizados para o dimensionamento do Cabo foram retirados da **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, dados em destaque.

Figura 12: Dados para dimensionamento do cabo.



Diâmetro		Massa Aprox. (kg/m)	Carga de Ruptura Mínima (tf)	
mm	pol.		IPS	EIPS
6,4	1/4"	0,150	2,50	2,72
8,0	5/16"	0,228	3,90	4,26
9,5	3/8"	0,353	5,55	6,10
11,5	7/16"	0,479	7,88	8,27
13,0	1/2"	0,580	10,10	10,80
14,5	9/16"	0,786	12,50	13,60
16,0	5/8"	0,919	15,20	16,80
19,0	3/4"	1,359	22,00	24,00
22,0	7/8"	1,842	29,50	32,60
26,0	1"	2,376	38,50	42,60
29,0	1.1/8"	3,064	50,10	53,90
32,0	1.1/4"	3,770	60,10	66,50
35,0	1.3/8"	4,687	73,00	80,50
38,0	1.1/2"	5,530	86,50	95,80
45,0	1.3/4"	7,628	117,70	130,40
52,0	2"	9,978	153,80	170,30

Fonte: CIMAF, 2012.

O Fator de Segurança adotado para dimensionamento do cabo para aplicações em Pontes Rolantes foi 7, valor intermediário constante no Manual do Fabricante CIMAF (2012).

Figura 13: Fator de Segurança do cabo.

Aplicações	Fatores de Segurança
Cabos e cordoalhas estáticas	3 a 4
Cabo para tração no sentido horizontal	4 a 5
Guinchos, guindastes, escavadeiras	5
Pontes rolantes	6 a 8
Talhas elétricas	7
Guindaste estacionário	6 a 8
Laços	5 a 6
Elevadores de obra	8 a 10
Elevadores de passageiros	12

Fonte: CIMAF, 2012.

Adotou-se número de eslingas entre 1 e 4;

Penalizações para carregamento:

- Condição de operação (DAF): Fábrica = 1,15.
- Incerteza CG (SKL) = 1,1;

O ângulo é limitado a no máximo 60°, para os cálculos foi limitado a no máximo 40°.

Para o dimensionamento do Diâmetro do tambor e da polia utilizou-se a recomendação do fabricante do cabo CIMAF (2012).

Figura 14: Recomendação do fabricante para dimensionamento do tambor e polia.

Construção do cabo	Diâmetro da polia ou do tambor	
	Recomendado	Mínimo
6x7	72	42 x Ø do cabo
6x19 S	51	34 x Ø do cabo
19x7	51	34 x Ø do cabo
6x25 F	39	26 x Ø do cabo
8x19 S	39	26 x Ø do cabo
6x36 WS, Propac	34	23 x Ø do cabo
6x41 WS	31	20 x Ø do cabo
PowerPac, MinePac	31	20 x Ø do cabo
Ergoflex, Ergoflex Plus	31	18 x Ø do cabo
6x71 WS	21	14 x Ø do cabo

Fonte: CIMAF, 2012.

Para o dimensionamento das polias, o layout adotado foi o composto por 7 polias no total, sendo 3 polias fixas e 4 móveis.

Para o dimensionamento dos motores utilizou-se o Fator de correção de tensão de acordo com a Tabela 16 da AISE, transcrita na Tabela 7.

Tabela 7: Fator de correção de voltagem.

Porcentagem de Tensão	Fator de Correção de Tensão, Kv	Porcentagem de Tensão	Fator de Correção de Tensão, Kv
100	1.00	92	1.18
99	1.02	91	1.21
98	1.04	90	1.23
97	1.06	89	1.26
96	1.09	88	1.29
95	1.11	87	1.32
94	1.13	86	1.35
93	1.16	85	1.38

Fonte: Adaptado de AISE.

Da mesma forma, o fator de serviço também foi adotado de acordo com a Tabela 17 da AISE, transcrita na Tabela 8.

Tabela 8: Fatores de serviço para motores de série operados em 230V, ou motores shunt em acionamentos de tensão ajustável.

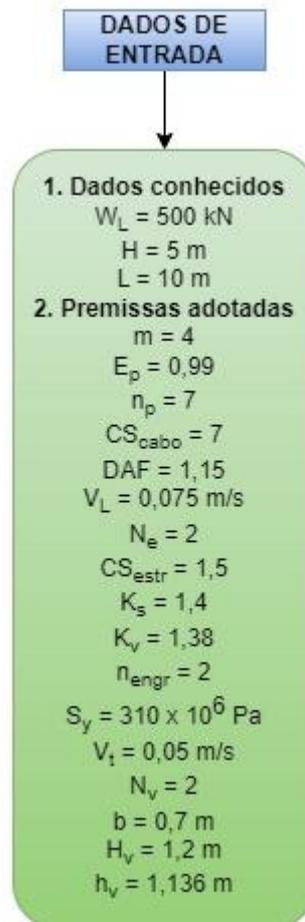
Porcentagem máxima de tempo de movimento	20	30	40	50
Ciclos máximos/h*	15	25	35	45
Classe de Serviço Elétrica, da Tabela 15	1	2	3	4
Fator de Serviço, K_s				
Guindaste	0,75	0,75	0,82	0,96
Ponte e carro	1,1	1,2	1,3	1,4

*Ver nota de rodapé na Tabela 15 para definições de ciclo

Fonte: Adaptado de AISE.

Sendo assim, as considerações e os dados adotados são (Figura 15):

Figura 15: Dados de entrada.



Fonte: Autoria Própria.

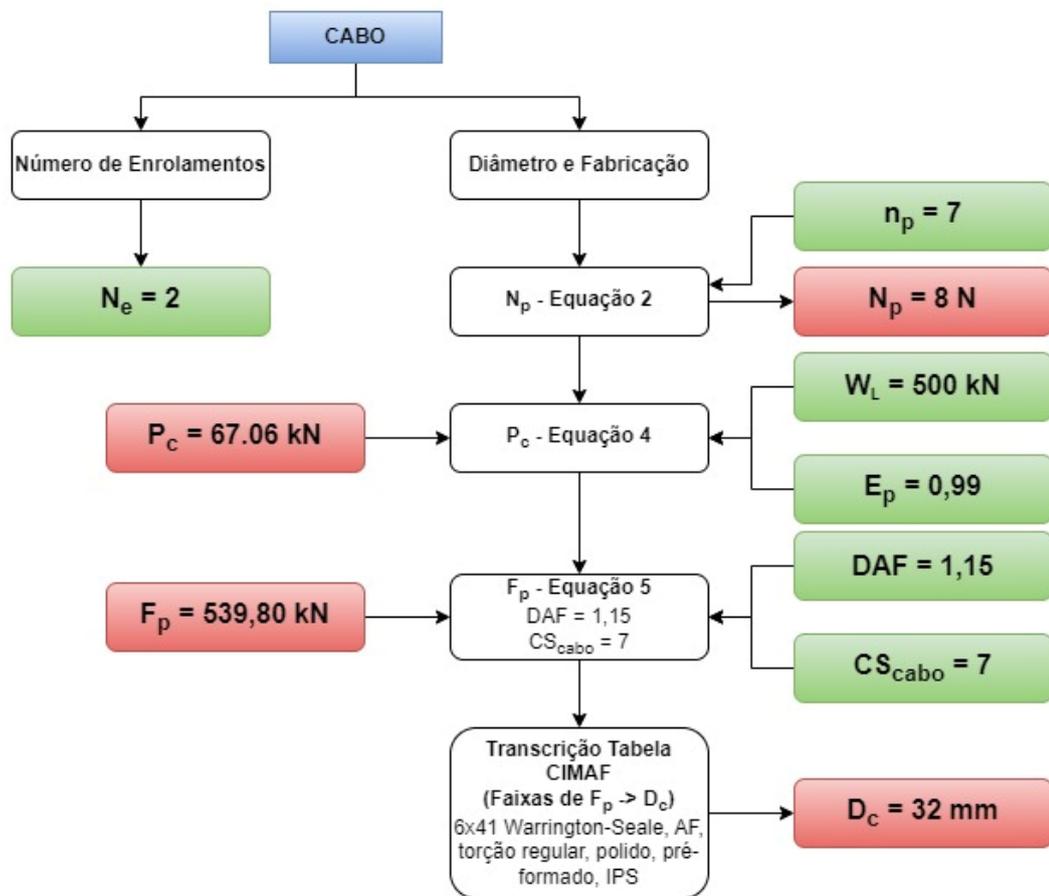
4.2. DIMENSIONAMENTO

- Cabos

Para o dimensionamento do cabo foi realizada a transcrição da Tabela CIMAF para o tipo de cabo adotado, sendo os valores de Carga de Ruptura Mínima e Diâmetro transcritos em unidades do Sistema Internacional (SI).

Seguiu-se o Fluxograma expresso na Figura 16 para dimensionamento do cabo.

Figura 16: Fluxograma dimensionamento cabo.



Fonte: Autoria própria.

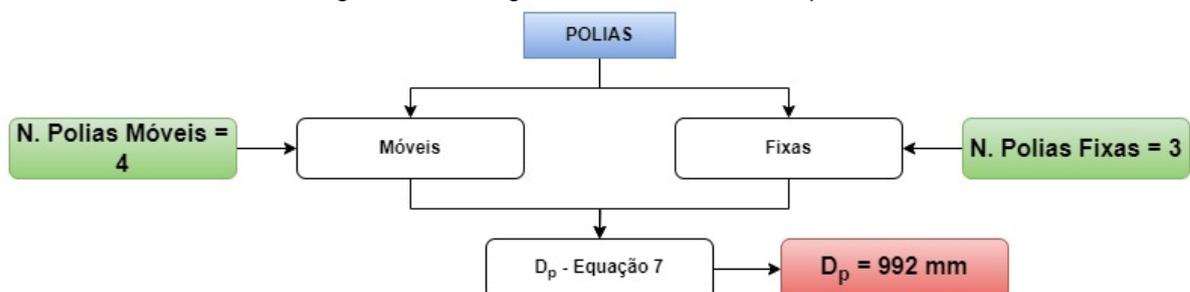
Ao final desta etapa o tipo e diâmetro do cabo estará dimensionado, podendo prosseguir com a programação.

Com o cabo dimensionado, é possível dimensionar o diâmetro da polia e do tambor.

- Polias

Para o dimensionamento das polias seguiu-se o Fluxograma expresso na Figura 17.

Figura 17: Fluxograma dimensionamento polias.

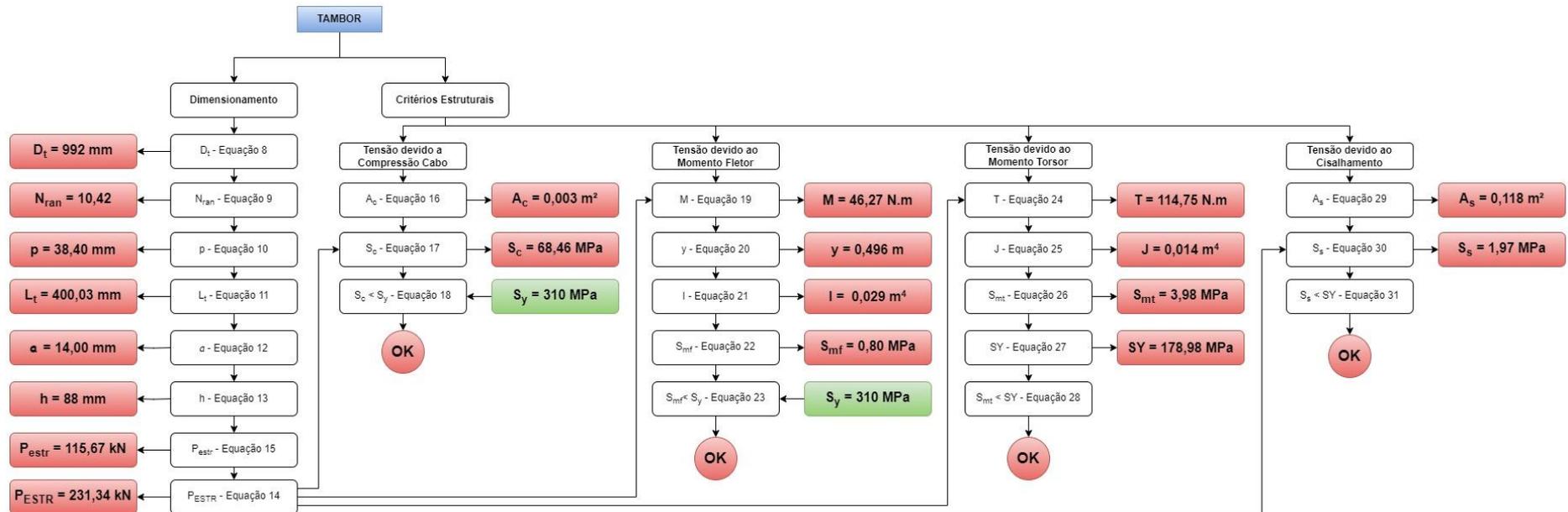


Fonte: Autoria Própria.

- Tambor

O fluxograma de cálculos realizados para o dimensionamento, bem como para avaliação e validação dos critérios estruturais para o Tambor estão apresentados na Figura 18.

Figura 18: Fluxograma dimensionamento tambor.

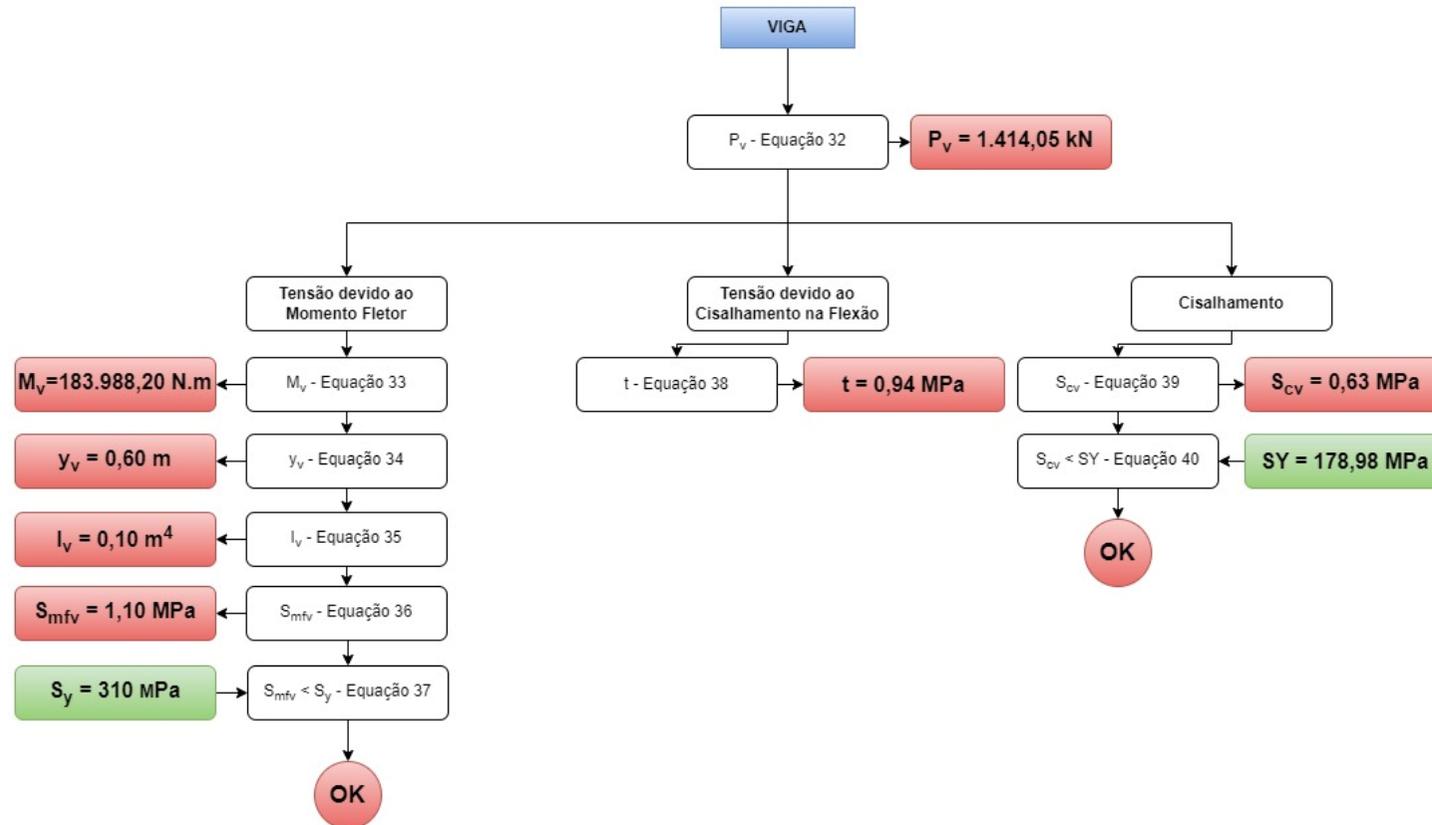


Fonte: Autoria Própria.

- Viga

O fluxo grama de dimensionamento e avaliação e validação dos critérios estruturais para o componente viga está apresentado na Figura 19.

Figura 19: Fluxograma dimensionamento viga.

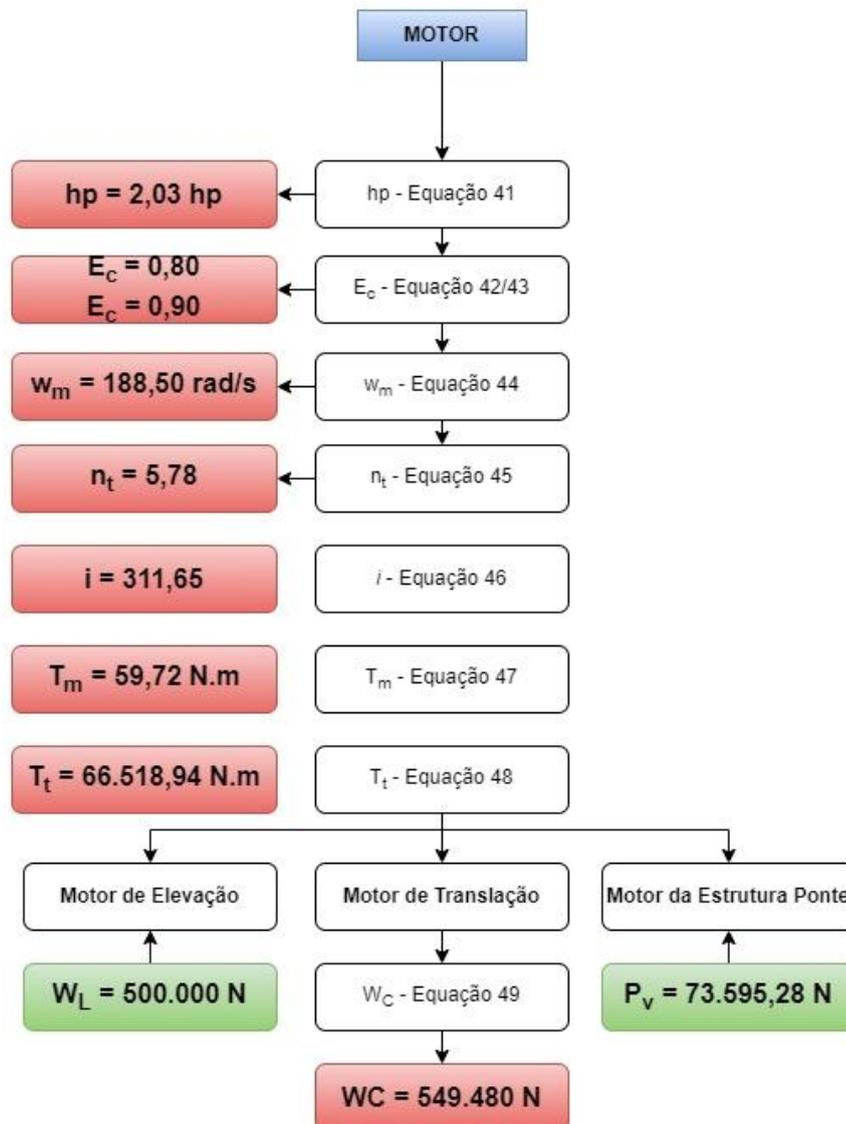


Fonte: Autoria Própria.

- Motores

Após o dimensionamento dos diâmetros de cabo, polia e tambor, será dimensionado o motor de elevação, seguido pelo dimensionamento do freio. Para o motor de translação é adotado uma Velocidade de 0,05 m/s, de acordo com a ABNT NBR 8400:2019, para faixa de velocidade de elevação entre 0 e 0,25 m/s. Em seguida, foram estimadas as massas destes componentes para calcular o peso total dessa estrutura, conforme fluxograma apresentado na Figura 20.

Figura 20: Fluxograma dimensionamento motores.



Fonte: Autoria própria.

Após a execução da programação, obteve-se os seguintes resultados (Quadro 2):

Quadro 2: Resultados.

ITEM	ESPECIFICAÇÕES	VALOR
CABO	Material e Modelo	Cabo de aço 6x41 Warrington Seale – Alma de Fibra Categoria IPS
	Diâmetro do Cabo (D_c)	32 mm
	Velocidade de elevação do cabo (V_c)	0,30 m/s
	Quantidade	22,00 m
	Massa	3,77 kg/m
POLIAS	Diâmetro da polia (D_p)	992 mm
	Ganho mecânico (N_p)	8
MOITÃO	Modelo	Nº 63 GOSAN de 4 polias com Grupo ISSO FEM M7 e DIN 4m
	Carga suportada	63t
	Diâmetro (D_p)	1010 mm
	Massa	2200 kg
MOTOR DE ELEVAÇÃO	Potência (hp) calculada	2,03 hp
	Modelo	W22 Motofreio IR2 da WEG, com IV polos
	Potência	5 hp
	Rotação	1800 rpm
	Massa	38,00 kg
	Rotação (w_m)	188,50 rad/s
	Torque (T_m)	79,52
TAMBOR	Material	Chapa ASTM A-36/SAE 1045- Espessura=102 mm
	Diâmetro do Tambor (D_t)	992 mm
	Número de ranhuras (N_{ran})	11
	Passo do cabo (p)	38,40 mm
	Comprimento mínimo do tambor (L_t)	401,00 mm
	Altura da ranhura (a)	14,00 mm
	Espessura do tambor (h)	88,00 mm
	Massa	205 kg
	Rotação do tambor (n_t)	5,78 rpm
Torque do tambor (T_t)	66,52 kN.m	
CRITÉRIOS ESTRUTURAIS DO TAMBOR	Tensão de escoamento do material selecionado (S_y)	310 MPa
	Tensão de compressão do cabo (S_c)	68,46 Mpa
	$S_c < S_y$	Condição satisfeita
	Tensão de momento fletor (S_{mf})	0,80 MPa
	$S_{mf} < S_y$	Condição Satisfeita
	Tensão de Momento Torsor (S_{mt})	3,98 MPa
	Tensão de cisalhamento puro (S_Y)	178,98 MPa
	$S_{mt} < S_Y$	Condição satisfeita
	Tensão de cisalhamento (S_s)	0,81 MPa
$S_s < S_Y$	Condição satisfeita	
REDUTOR	Taxa de redução (i) calculada	311,65
	Modelo	GH 110 4RC, redução = 318,31
	Massa	100,00 kg
FREIO	Torque do freio (T_f)	74,65 N.m

	Modelo	TTFPD 160 da TECTOR, Torque mínimo = 62,5 N.m e torque máximo = 125 N.m
	Massa	22 kg
MOTOR DE TRANSLAÇÃO	Carga do carro (W_c)	549,48 kN
	Potência do motor (hp)	1,50 hp
	Modelo	Motoredutor SEW-EURODRIVE R 27 DZ 90S2
	Rotação	135 rpm
	Massa	18 kg
	Carro ponte rolante	Carro ponte rolante modelo Dupla Viga
	Massa	2300,00 kg
VIGA	Carregamento na viga (P_v)	1414,05 kN
	Momento fletor na viga (M_v)	9,62 kN.m
	y_v	0,60 m
	Momento de Inércia (I_v)	0,10 m ⁴
	Tensão de momento fletor da viga (S_{mfv})	21,04 MPa
	$S_{mfv} < S_y$	Condição satisfeita
	Momento estático (Q)	0,13 m ³
	Tensão de cisalhamento na flexão (τ)	18,05 MPa
	Tensão de cisalhamento na vida (S_{cv})	12,03 MPa
	$S_{cv} < SY$	Condição satisfeita
Coeficiente de Segurança CS	1	
TRILHO	Modelo	Perfil americano CR175
	Massa	86,80 kg/m
PARACHOQUES	Modelo	Tipo 1 CS-15
	Massa	23,1 kg

Fonte: Autoria própria.

5. CONCLUSÃO

No presente trabalho, foi desenvolvido o dimensionamento de uma ponte rolante dupla viga para movimentação de carga de 50 toneladas. O uso da norma ABNT 8400 2019 foi imprescindível para o desenvolvimento do projeto. A partir dela as tensões e esforços que a estrutura pode sofrer foram determinados e, assim, obtendo um perfil de estrutura que melhor se adequa ao projeto.

Por fim, conclui-se que todos os objetivos propostos foram atingidos, sendo que com o estudo também foi possível colocar em prática muitos conceitos aprendidos em sala de aula.

É importante ressaltar 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, dentre outras, servindo de base para estudos futuros e aperfeiçoamento das técnicas utilizadas.

Sugestões para trabalhos futuros:

Com a realização deste trabalho é possível, posteriormente, realizar estudos relacionados a:

- Dimensionamento de pontes rolantes de diferentes modelos e aplicadas a cargas específicas;
- Análise estrutural dos componentes de uma ponte rolante com utilização de outros softwares;
- Análise estrutural de componentes específicos do equipamento, tais como viga e tambor.

REFERÊNCIAS

ABUS Kransysteme. **Ponte rolante de viga dupla ZHB**. Disponível em: <<https://www.directindustry.com/pt/prod/abus/product-14275-543253.html>>. Acesso em: 14/07/2021.

ABUS Kransysteme. **Ponte rolante univiga EHB**. Disponível em: <<https://www.directindustry.com/pt/prod/abus/product-14275-543243.html>>. Acesso em: 14/07/2021.

ABUS Kransysteme. **Ponte rolante de parede univiga EKL**. Disponível em: <<https://www.directindustry.com/pt/prod/abus/product-14275-543211.html>>. Acesso em: 14/07/2021.

ALTA INDUSTRIAL. Catálogo Alta Industrial: Lifting and moving the World. Disponível em: <http://altaindustrial.com.br/Portugues/media/Catalogo_Alta_Industrial.pdf>. Acesso em: 14/11/2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10084: Cálculo de estruturas-suporte para equipamentos de elevação e movimentação de cargas – Procedimento. Rio de Janeiro, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8400-1: Equipamentos de elevação e movimentação de carga – Regras para projeto (Parte 1: Classificação e cargas sobre as estruturas e mecanismos). Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8400-2: Equipamentos de elevação e movimentação de carga – Regras para projeto (Parte 2: Verificação das estruturas ao escoamento, fadiga e estabilidade). Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8400-3: Equipamentos de elevação e movimentação de carga – Regras para projeto (Parte 3: Verificação à fadiga e seleção dos componentes do mecanismo). Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8400-4: Equipamentos de elevação e movimentação de carga – Regras para projeto (Parte 4: Equipamento elétrico). Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8400-5: Equipamentos de elevação e movimentação de carga – Regras para projeto (Parte 5: Cargas para ensaio e tolerâncias de fabricação). Rio de Janeiro, 2019.

BRASIL, H. V. Máquinas de levantamento. Editora Guanabara S.A. Rio de Janeiro, 1985.

BRITO, A. L. S et al. Projeto: Ponte Rolante Univiga. 44p. Monografia (Trabalho Acadêmico Integrador – TAI) – Graduação em Engenharia Mecânica, Instituto Federal de Minas Gerais – IFMG, 2017.

CIMAF. Manual Técnico de Cabos. Osasco – SP. Agosto de 2012, 104 p. Disponível em: <<http://www.cimaf.com.br>>. Acesso em: 14/11/2018.

COMERCIAL FORTE. Catálogo de Trilhos. São Paulo – SP. 50 p. Disponível em: <<http://www.comerciaforte.com.br>>. Acesso em: 14/11/2018.

DEMAG. A revolução em pontes rolantes – Pontes rolantes tipo V da DEMAG. Disponível em: <<https://www.demagcranes.com/pt-br/produtos/pontes-rolantes/pontes-rolantes-universal/pontes-rolantes-tipo-v-da-demag>>. Acesso em: 13/07/2021.

ECKERT, E. Dimensionamento da viga e trole transversal de uma ponte rolante para o Núcleo de Automação e Processos de Fabricação (NAFA). 79p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, 2019.

EEEP – ESCOLA ESTADUAL DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL. Elementos de Máquinas. 74p. Curso Técnico em Mecânica, Escola Estadual de Educação Profissional - EEEP (Ensino Médio Integrado à Educação Profissional), Governo do Estado do Ceará, 2011.

GH. Catálogo Redutor GH. 20p. Disponível em: <<http://www.geremiaredutores.com.br>>. Acesso em: 14/11/2018.

GOSAN. Catálogo GOSAN: Componentes mecânicos para maquinaria de elevación, transporte y almacenamiento. Disponível em: <<http://www.gosan.net>>. Acesso em 14/11/2018.

MOVISERVI. Roda para ponte rolantes e pórticos. Acessado em 04/03/2022. Disponível em: <https://www.moviservi.com.br/produto/roda-para-pontes-rolantes-e-porticos/>.

NORTON, R. L. Projeto de máquinas: uma abordagem integrada. [tradução: Konstantinos Dimitriou Stavropoulos ... et al.]. – 4. Ed. – Porto Alegre: Bookman, 2013.

PASSOS, L. C. Pontes Rolantes, Guindastes Giratórios e Acessórios de Movimentação de Cargas. Técnicas de Instalação, Operação, Manutenção, Testes e Inspeção: MAKE Engenharia – Assessoria & Desenvolvimento, 2011.

REMOR, G. S. Projeto conceitual de um pórtico rolante para movimentação de pallets. 52p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Graduação em Engenharia Mecânica, Faculdade Horizontina - FAHOR, 2012.

RUDENKO, N. Máquinas de elevação e transporte. Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. Rio de Janeiro, 1976.

SC AÇOS. Catálogo CS AÇOS. Disponível em: <<http://www.scacos.com.br>>. Acesso em: 14/11/2018.

SEW EURODRIVE. Catálogo Motoredutores SEW EURODRIVE – Solução em Movimento. Edição 08/2007. Disponível em: <<http://www.sew.com.br>>. Acesso em: 14/11/2018.

S.G.O. Equipamentos de Elevação de Cargas. Ponte rolante dupla viga. Disponível em: < <http://sgoequipamentos.com/produto/ponte-rolante-dupla-viga/>>. Acesso em: 14/07/2021.

SOARES, J. O. Projecto e optimização de pontes rolantes. 122p. Dissertação (Mestrado) – Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica, Universidade de Minho, 2011.

SORDI, G. Dimensionamento da viga principal de uma ponte rolante. 60p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Graduação em Engenharia Mecânica, Centro Universitário UNIVATES, 2016.

SS ENGENHARIAS. Ponte Rolante. Acessado em 04/03/2022. Disponível em: <https://ssengharias.com.br/portfolios/ponte-rolante/>.

TECTOR. Catálogo TECTOR: TTFPD...EH. Disponível em: <http://www.tector.com.br/produtos/freio_ttfpd_eh>. Acesso em: 14/11/2018.

WEG. Catálogo W22 Motofreio: Motor Elétrico Trifásico. 2016. Disponível em: <<http://www.weg.net>>. Acesso em: 14/11/2018.

APÊNDICE A: Programação Em Scilab Utilizada Para Dimensionamento

- Dados de Entrada:

```
//Dados de entrada
m=4; //Número de polias móveis
WL=500000 //Carga a ser içada (N)
E_p=0.99; //Eficiência da polia
n_p=7; //Número de polias
CS_cabo=7; //Valor intermediário tabela CIMAF
DAF=1.15; //Considerou-se condição de operação em Fábrica
V_L=0.075; //Velocidade de elevação (m/s)
Ne=3; //Número de enrolamentos
CS_estr = 1.5; //Fator de segurança estrutural
Ks=1.4; //Fator de serviço;
Kv=1.38; //Fator de correção de voltagem;
H=5; //Altura de elevação (m)
Sy=310e6; //Tensão de escoamento do material selecionado
n_engr=2; //Número de engrenamentos
```

- Cabos

```
N=n_p+1; //Ganho mecânico para cabo saindo de polia móvel
Pc=WL/(N*(E_p^n_p)); //Carga de elevação
Fp=Pc*DAF*CS_cabo;
//Transcrição dos valores da Tabela da CIMAF para o tipo de cabo escolhido.
//Os valores de Carga de Ruptura Mínima e Diâmetro estão em unidades do SI.
if(Fp<=24516.63) then
  ... Dc=6.4;
elseif(Fp>24516.63 & Fp<=38245.93) then //Intervalos de carga ruptura
  ... Dc=8.0;
elseif(Fp>38245.93 & Fp<=53936.57) then
  ... Dc=9.5;
elseif(Fp>53936.57 & Fp<=77276.40) then
  ... Dc=11.5;
elseif(Fp>77276.40 & Fp<=99047.16) then
  ... Dc=13.0;
elseif(Fp>99047.16 & Fp<=122583.13) then
  ... Dc=14.5;
elseif(Fp>122583.13 & Fp<=149061.08) then
  ... Dc=16.0;
elseif(Fp>149061.08 & Fp<=215746.30) then
  ... Dc=19.0;
elseif(Fp>215746.30 & Fp<=289296.17) then
  ... Dc=22.0;
elseif(Fp>289296.17 & Fp<=377556.03) then
  ... Dc=26.0;
elseif(Fp>377556.03 & Fp<=491313.16) then
  ... Dc=29.0;
elseif(Fp>491313.16 & Fp<=589379.67) then
  ... Dc=32.0;
elseif(Fp>589379.67 & Fp<=715885.45) then
  ... Dc=35.0;
elseif(Fp>715885.45 & Fp<=848275.22) then
  ... Dc=38.0;
elseif(Fp>848275.22 & Fp<=1154242.71) then
  ... Dc=45.0;
else
  ... Dc=52.0;
end //Fim da transcrição da Tabela.
//Ao final desta etapa aparecerá está mensagem indicando o tipo e cabo utilizado e a categoria do mesmo//
```

- Polia

```
//Recomendação-CIMAF
Dp=31*Dc; //Diâmetro-da-polia (mm) - (31-se refere ao recomendado pelo fabricante)
Dt=31*Dc; //Diâmetro-do-tambor (mm)
Vc=N*V_L/Ne; //Velocidade-de-elevação-do-cabo (m/s)
```

- Tambor

```
//Estrutura
P_estr = Pc*DAF*CS_estr;

//Tambor
N_ran=(N*(H*1000)/(Ne*pi*Dt))+2*Ne; //Número-de-ranuras
p=1.2*Dc; //passo-do-cabo
Lt=N_ran*p; //Comprimento-mínimo
Dti=Dt-(102*2); //Diâmetro-interno (mm) - //279-mm-é-referente-à-espessura-da-chapa-do-tambor.
a=(7/16)*Dc; //Altura-da-ranura (mm)
Pestr=P_estr*Ne; //Carregamento-total

//Compressão-cabo
h=(Dt/2)-(7/16)*Dc-(Dti/2); //Espessura
Ac=(h/1000)*(p/1000); //m²
Sc=Pestr/Ac

if (Sc<Sy) then
----//Momento-Fletor
---M=2*Pestr*(Lt/1000)/4;
---y=(Dt/1000)/2;
---I=pi*((Dt/1000)^4)-((Dti/1000)^4)/64;
---Smf=M*y/I
---if (Smf<Sy) then
-----//Momento-torsor
-----T=Pestr*(Dt/1000)/2;
-----J=I/2;
-----Smt=T*y/J;
-----SY=Sy/sqrt(3); //Critério-de-Von-Mises
-----if (Smt<SY) then
-----//Cisalhamento
-----As=pi*((Dt/1000)^2)-((Dti/1000)^2)/4;
-----Ss=Pestr/As;
-----if (Ss<SY) then
-----end
-----end
----end
end
```

- **Viga**

```
//viga
L=10;//m
N_v=2;//Número-de-vigas
B=0.7;//m
Hv=1.2
b=0.636;//m
hv=1.136;//m
P_p=WC-WL+(18*2*10);//Peso
//peso-carro+dois-motores-de-translação
P_v=((P_estr*N/N_v)+P_p)*1.45;//Mx=-1,45-para-o-pior-caso
//Momento-Fletor
Mv=P_v*L/4;
yv=Hv/2;//m
Iv=B*(1.2^3)/12;
Smfv=Mv*yv/Iv
if (Smfv<Sy) then

    ....//Cisalhamento
    ....As=0.1175;//m^2
    ....Scv=P_v/As;
    ....tau=1.5*Scv;
    ....if (Scv<SY) then
    ....    MV=9624.10//.kg
    ....    PT=P_v+(9624.10*10)+(1395*2*10)+(868*2)+(23.1*2*10);
    ....    //Peso-da-ponte+.peso-das-vigas-principais+.peso-das-cabeceiras+peso-dos-trilhos+peso-do-paracheque
    ....    hpv=Ks*Kv*Vt*3.28084*PT*0.2248/(33000*E_c); //V_L-(fpm)-WL(lbf)-POTÊNCIA
    ....end
end
```

- **Motores**

```
//Motor
//Elevação
E_c=(0.93^n_engr)*(0.98^m);//Eficiência-combinada-para-mancais-de-deslizamento
hp=Ks*Kv*V_L*3.28084*WL*0.2248/(33000*E_c); //V_L-(fpm)-WL(lbf)-POTÊNCIA
hpl=5;
hp2=745.7*hpl;//Conversão-para-SI
n_m=1800;//Rotação-do-motor
w_m=n_m*2*pi/60;
n_t=(Vc/(pi*Dt/1000))*60;//Rotação-do-tambor
i=n_m/n_t;//Taxa-de-redução
E_r=0.97^Ne;
T_m=(hp2*E_r/(w_m*i))*1000;//Torque-do-motor
T_t=Ne*Pc*(Dt/1000)/2;//Torque-do-tambor
//Dimensionamento-do-freio
T_f=1.25*T_m;//Torque-do-freio
//Translação
//Velocidade-de-translação
Vt=-0.05;//m/s-Adotado
WC=-830+(2200*10)+(38*10)+(205*10)+(100*10)+(22*10)+(2300*10)+WL
//cabo+moitão+motor+tambor+reductor+freio+carro+carregamento
hpc=Ks*Kv*Vt*3.28084*WC*0.2248/(33000*E_c); //V_L-(fpm)-WL(lbf)-POTÊNCIA
//Modelo-escolhido-R-27-DZ-90S2-da-SEW-Eudrodrive,-com-1,5-kW-de-potência-e-135-rpm-pesando-18-kg.
```

- Resultados

DADOS DE SAÍDA:

Diâmetro do Cabo (D_c)=32.00 mm
 Velocidade de elevação do cabo (V_c)=0.30 m/s
 Diâmetro da polia (D_p)=992.00 mm
 Ganho mecânico (N)=8.00
 Potência do motor (hp)=2.03 hp
 Rotação do motor (n_m)=1800.00 rpm
 Rotação do motor (w_m)=188.50 rad/s
 Torque do motor (T_m)=59.72 N.m
 Diâmetro do tambor (D_t)=992.00 mm
 Diâmetro interno do tambor (D_{ti})=788.00 mm
 Número de ranhuras (N_{ran})=10.42
 Passo do cabo (p)=38.40 mm
 Comprimento mínimo do tambor (L_t)=400.03 mm
 Altura da ranhura (a)=14.00 mm
 Rotação do tambor (n_t)=5.78 rpm
 Torque do tambor (T_t)=66518.94 N.m
 Tensão de compressão do cabo (S_c)=68460308.79 Pa
 Tensão de momento fletor (S_{mf})=802238.46 Pa
 Tensão de momento torsor (S_{mt})=3978769.95 Pa
 Tensão de cisalhamento puro (S_Y)=178978583.45 Pa
 Tensão de cisalhamento (S_s)=811171.53 Pa
 Taxa de redução (i)=311.65
 Torque do freio (T_f)=74.65 N.m
 Carga do carro com todos os equipamentos (WC)=549480.00 N
 hpc=1.49 hp
 Carregamento na viga (P_v)=1414046.24 N
 Momento fletor na viga (M_v)=3535115.59 N.m
 $y_v=0.60$ m
 Momento de inércia da viga (I_v)=0.10 m⁴
 Tensão de momento fletor da vida (S_{mf_v})=:21042354.73 Pa

 Tensão de cisalhamento na flexão (τ)=18051654.10 Pa
 Tensão de cisalhamento na viga (S_{cv})=12034436.07 Pa

ANEXO A – Bill Of Materials (BoM)

Tabela 1: Lista de Materiais (Bill of Materials).

<i>Material</i>	<i>Unidade</i>
Cabo de aço 6x41 Warrington Seale – Alma de Fibra Categoria IPS	22 m
Polias Dp = 992 mm	3
Moitão Nº 63 GOSAN de 4 polias com Grupo ISSO FEM M7 e DIN 4m	1
W22 Motofreio IR2 da WEG, com IV polos, 5hp, 60 Hz, 1800 rpm	3 ¹
Tambor ASTM A-36/SAE 1045	1
Redutor GH 110 4RC, redução = 318,31	1
Freio TTFPD 160 da TECTOR, Torque mínimo = 62,5 N.m e torque máximo = 125 N.m	1
Motoredutor SEW-EURODRIVE R 27 DZ 90S2, 1,5hp, 135 rpm	2
Carro ponte rolante Dupla Viga	1
Trilho Perfil americano CR175 (L=10 m)	2
Viga caixão AÇO SAE 1045 (L=10 m)	2
Cabeceira para ponte rolante	2
Para-choques Tipo 1 CS-15	8 ²

Fonte: Própria.

¹1 para elevação e 2 acoplados as cabeceiras.

²2 em cada cabeceira e 4 no carro ponte rolante.

ANEXO B – Massa Dos Componentes

Tabela 2: Massa dos componentes (Valores estimados).

Componente	Massa (kg)
Cabo de aço 6x41 Warrington Seale – Alma de Fibra Categoria IPS	83,00
Polias Dp = 992 mm	2200,00
Moitão Nº 63 GOSAN	
W22 Motofreio IR2 da WEG, 5hp, 60 Hz, 1800 rpm	38,00 ¹
Tambor ASTM A-36/SAE 1045	205,00
Redutor GH 110 4RC, redução = 318,31	100,00
Freio TTFPD 160 da TECTOR	22,00
Motoredutor SEW-EURODRIVE R 27 DZ 90S2, 1,5hp, 135 rpm	18,00 ²
Carro ponte rolante Dupla Viga	2300,00
Trilho Perfil americano CR175 (L=10 m)	1736,00
Viga caixão AÇO SAE 1045 (L=10 m)	4812,05
Cabeceiras	1395,00
Para-choques Tipo 1 CS-15	23,1 ²

Fonte: Própria.

¹Valor unitário.

²Valor unitário.