



UNIVERSIDADE DO VALE DO TAQUARI - UNIVATES  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS  
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

**DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL DE UM PÓRTICO  
ROLANTE PARA LEVANTAMENTO DE CARGAS DE ATÉ  
10 TONELADAS**

Rafael Talini Lorenzi

Lajeado, novembro 2018.

Rafael Talini Lorenzi

**DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL DE UM PÓRTICO  
ROLANTE PARA LEVANTAMENTO DE CARGAS DE ATÉ  
10 TONELADAS**

Monografia apresentada na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso - Etapa II, da Universidade do Vale do Taquari UNIVATES, como exigência para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Dr. Guilherme Cortelini da Rosa.

Lajeado, novembro 2018.

## **DEDICATÓRIA**

A toda minha família que sempre me apoiou e nunca mediram esforços para que este sonho se realizasse.

## AGRADECIMENTOS

À toda minha família.

À minha namorada Júlia pelo incentivo, compreensão e auxílio nos momentos difíceis passados.

Ao meu orientador Dr. Guilherme Cortelini da Rosa, pela paciência e colaboração no andamento do trabalho.

Ao engenheiro Paulo Roberto M. de Carvalho, por conceder-me a licença para utilização do *software Stabile mCalc3D*.

À empresa Agroserrana Metalúrgica LTDA. pelo auxílio prestado durante a realização do trabalho.

## RESUMO

Pórticos Rolantes são equipamentos que podem ser utilizados para realizar a movimentação de cargas durante um elevado período de tempo. São estruturas que podem ser instaladas interna ou externamente em edificações, permitindo a movimentação da carga em várias direções. Este trabalho apresenta o dimensionamento estrutural de um Pórtico Rolante com capacidade nominal de 10 toneladas, que será utilizado internamente em uma empresa de estruturas metálicas situada no interior do Rio Grande do Sul. Para a realização do dimensionamento estrutural utilizou-se a NBR 8400 (ABNT, 1984) - Cálculo de equipamento para levantamento e movimentação de cargas. Para o dimensionamento são utilizados dois *softwares*, o MDSolids, utilizado para a realização dos diagramas de carregamento e o *Stabile mCalc3D* para a verificação estrutural, com o auxílio de ambos pode-se analisar os resultados e verificar se os mesmos encontram-se dentro dos padrões estabelecidos pela referida Norma. Após os cálculos, obteve-se que o aço ASTM A36 será utilizado na fabricação da viga principal com altura de viga de 880 [mm], base 300 [mm] e espessuras de alma e base 6,35 [mm] e 12,7 [mm], respectivamente. Para as pernas, altura de viga de 500 [mm], base 150 [mm] e espessuras de alma e base 6,35 [mm] e 12,7 [mm], respectivamente. Para a viga de ligação é utilizado o perfil comercial W310x32,7 fabricado com o aço ASTM A572 GR50.

**Palavras-chave:** Pórtico Rolante; movimentação de cargas; dimensionamento.

## ABSTRACT

Gantry Crane are equipments that can be used to carry out the movement of loads during a long period of time. They are structures that can be installed internally or externally in constructions, allowing the movement of the load in several directions. This work presents the structural sizing of a Gantry Crane with a nominal capacity of 10 tons, which will be used internally in a metal structures company located in the interior of Rio Grande do Sul state. For the structural sizing, will be addressed the NBR 8400 (ABNT, 1984) - Calculation of equipment for lifting and movement of loads. After the calculations, two softwares are used, the MDSolids, used for the realization of the load diagrams and the Stabile mCalc3D for the structural verification, with the aid of both it's possible to analyze the results and verify if they are within the standards established by the used norm. After the calculations, it was obtained that ASTM A36 steel will be used in the manufacture of the main beam with the height of 880 [mm], base 300 [mm] and core and base thicknesses 6.35 [mm] and 12.7 [mm], respectively. For the legs, beam height of 500 [mm], base 150 [mm] and core and base thicknesses 6.35 [mm] and 12.7 [mm], respectively. For the connecting beam, the commercial profile W310x32.7 manufactured with ASTM A572 GR50 steel.

**Keywords:** Gantry Crane; moving loads; sizing

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Pórtico Rolante no Estaleiro Rio Grande .....	16
Figura 02 - Ponte Rolante Univiga .....	24
Figura 03 - Ponte Rolante Dupla Viga.....	24
Figura 04 - Pórtico Univiga .....	25
Figura 05 - Pórtico Dupla Viga com Duplo Balanço .....	26
Figura 06 - Semi-Pórtico .....	27
Figura 07 - Elementos utilizados como Viga Principal.....	28
Figura 08 - Elementos utilizados como vigas de fechamento .....	28
Figura 09 - Elementos utilizados como Pernas .....	29
Figura 10 - Elementos utilizados como vigas de Ligação.....	30
Figura 11 - Sistema de elevação para Pórtico Univiga.....	34
Figura 12 - Sistema de elevação para Pórtico Dupla Viga .....	34
Figura 13 - Valores do coeficiente $\psi_h$ .....	42
Figura 14 - Coeficiente que determina as reações devidas ao rolamento.....	42
Figura 15 - Representação perfil I .....	51
Figura 16 - Seção da viga principal .....	52
Figura 17 - Diagramas devidos ao peso próprio.....	54
Figura 18 - Diagramas devido a carga de serviço aplicada a 5 metros.....	55
Figura 19 - Diagramas devido a carga de serviço aplicada a 9,5 metros .....	56
Figura 20 - Diagramas devido a solicitação horizontal aplicada a 5 metros.....	58
Figura 21 - Diagramas devido a solicitação horizontal aplicada a 9,5 metros .....	59
Figura 22 - Reações horizontais transversais com <i>trolley</i> no centro da viga.....	61
Figura 23 - Reações horizontais transversais com <i>trolley</i> na extremidade da viga ...	63

Figura 24 - Deflexão na viga principal .....	65
Figura 25 - Reações geradas pela carga aplicada a 9,5m .....	65
Figura 26 - Distribuição de cargas na pernas.....	66
Figura 27 - Resultado da ação das cargas.....	66
Figura 28 - Seção do pilar utilizado nas pernas .....	67
Figura 29 - Seção do pilar utilizado nas vigas de ligação.....	69
Figura 30 - Diagramas devido ao peso próprio .....	71
Figura 31 - Ligação entre pernas e viga principal.....	73
Figura 32 - Carregamentos aplicados na estrutura do Pórtico Rolante.....	74
Figura 33 - Dimensionamento realizado no mCalc3D .....	75
Figura 34 - Vista frontal do projeto do Pórtico Rolante.....	76
Figura 35 - Representação do projeto final do Pórtico Rolante .....	76



## LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Propriedades do sistema de elevação para Pórtico Univiga .....	34
Tabela 02 - Propriedades do sistema de elevação para Pórtico Dupla Viga.....	35
Tabela 03 - Classificação da estrutura dos equipamentos.....	35
Tabela 04 - Classes de utilização.....	36
Tabela 05 - Estado de carga .....	37
Tabela 06 - Classe de funcionamento do equipamento .....	37
Tabela 07 - Coeficiente dinâmico .....	39
Tabela 08 - Tempos de aceleração e acelerações.....	40
Tabela 09 - Valores do coeficiente de majoração .....	45
Tabela 10 - Tensão admissível à tração .....	46
Tabela 11 - Valor do coeficiente $\omega$ em função de $\lambda$ .....	48
Tabela 12 - Dados da viga principal .....	52
Tabela 13 - Características dimensionais do <i>trolley</i> para sistema Univiga.....	60
Tabela 14 - Dados da seção do perfil das pernas .....	67
Tabela 15 - Dados da seção do perfil das vigas de ligação .....	70

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 01 – Fluxograma para andamento do trabalho.....	33
--	----

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	Área
$A_A$	Área da alma
$A_B$	Área da base
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
APDL	ANSYS Parametric Design Language
ASTM	American Society for Testing and Materials
C	Força de compressão
CBCO	Centro Brasileiro da Construção em Aço
$F_{CM}$	Força de inércia média
FEM	Fédération Européenne De La Manutention
$F_{in}$	Forças de inércia devido a carga
g	Força de aceleração da gravidade
H	Altura de elevação
$I_x$	Momento de inércia no sentido x
$I_y$	Momento de inércia no sentido y
$J_m$	Aceleração média
kg	Unidade de medida em quilograma
kN	Unidade de medida em quilonewton
l	Comprimento de suspensão da carga
m	Unidade de medida em metro
m/s	Unidade de medida em metro por segundo
$m/s^2$	Unidade de medida em metro por segundo ao quadrado

$M_{eq}$	Massa Equivalente
$M_{eq}$	Massa equivalente
mm	Unidade de medida em milímetro
$M_{m\acute{a}x}$	Momento fletor máximo
MPa	Unidade de medida em Mega Pascal
$M_x$	Coeficiente de Majoração
N	Unidade de medida em Newton
NBR	Norma Brasileira
$N_x$	Número convencional de ciclos de levantamento
$\emptyset$	Diâmetro
$r_x$	Raio de giração no sentido x
$r_y$	Raio de giração no sentido y
$S_G$	Solicitações devidas ao peso próprio dos elementos
$S_H$	Solicitações devido aos movimentos horizontais
$S_L$	Solicitação devido a carga de serviço
$T_1$	Período de oscilação
$T_d$	Duração Total Teórica
$T_m$	Tempo médio
$T_s$	Tempo médio de duração do ciclo
V	Momento cortante
$V_D$	Velocidade de deslocamento
$V_L$	Velocidade de elevação
$W_x$	Módulo resistente da seção no sentido x
$W_y$	Módulo resistente da seção no sentido y
$\lambda_x$	Coeficiente de esbeltez no sentido x
$\lambda_y$	Coeficiente de esbeltez no sentido y
$\omega_x$	Coeficiente de flambagem no sentido x
$\omega_y$	Coeficiente de flambagem no sentido y
$\psi_h$	Coeficiente determinado através dos coeficiente $\beta$ e $\mu$
$\xi$	Coeficiente determinante das reações transversais devido ao rolamento
$\psi$	Coeficiente dinâmico a ser aplicado à solicitação devido a carga de serviço

$\mu$	Coeficiente que relaciona as massas
$m_1$	Massa da carga
$\rho$	Massa específica do material
$\beta$	Relação determinada pela duração média de aceleração e pelo período de oscilação
$\sigma_a$	Tensão admissível a tração ou compressão
$\sigma_{cp}$	Tensão de comparação
$\sigma_e$	Tensão de escoamento
$\sigma\omega_x$	Tensão de flambagem no sentido x
$\sigma\omega_y$	Tensão de flambagem no sentido y
$\tau_a$	Tensão admissível ao cisalhamento
$\tau_L$	Tensão cisalhante devido à carga de serviço
$\tau_H$	Tensão cisalhante devido a efeitos horizontais
$\tau_G$	Tensão cisalhante devido ao peso próprio
$\tau$	Tensão de cisalhamento
%	Símbolo de percentagem

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>1.1 Justificativa do trabalho .....</b>	<b>16</b>
<b>1.2 Delimitação do tema .....</b>	<b>17</b>
<b>1.3 Objetivos .....</b>	<b>17</b>
<b>1.4 Objetivos Específicos .....</b>	<b>18</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>19</b>
<b>2.1 Pórticos e Pontes Rolantes .....</b>	<b>19</b>
<b>2.2 Vantagens dos sistemas de elevação .....</b>	<b>22</b>
<b>2.3 Diferentes tipos de sistema de elevação.....</b>	<b>22</b>
<b>2.3.1 Ponte Rolante .....</b>	<b>23</b>
<b>2.3.1.1 Ponte Rolante Univiga .....</b>	<b>23</b>
<b>2.3.1.2 Ponte Rolante Dupla Viga.....</b>	<b>24</b>
<b>2.3.2 Pórtico Rolante.....</b>	<b>25</b>
<b>2.3.2.1 Pórtico Rolante Univiga .....</b>	<b>25</b>
<b>2.3.2.2 Pórtico Rolante Dupla Viga .....</b>	<b>26</b>
<b>2.3.3 Semi-Pórtico .....</b>	<b>26</b>
<b>2.4 Modelagem dos componentes de um Pórtico Rolante .....</b>	<b>27</b>
<b>2.4.1 Viga principal.....</b>	<b>27</b>
<b>2.4.2 Vigas de fechamento.....</b>	<b>28</b>
<b>2.4.3 Pernas .....</b>	<b>29</b>
<b>2.4.4 Vigas de Ligação .....</b>	<b>29</b>
<b>2.5 NBR 8400 (ABNT, 1984) .....</b>	<b>30</b>
<b>2.5.1 Definições gerais da Norma .....</b>	<b>30</b>

<b>3 METODOLOGIA .....</b>	<b>32</b>
<b>3.1 Sistemas de elevação .....</b>	<b>33</b>
<b>3.1.1 Sistema utilizados para Pórtico Univiga .....</b>	<b>33</b>
<b>3.1.2 Sistema utilizado para Pórtico Dupla Viga.....</b>	<b>34</b>
<b>3.2 Classificação da estrutura.....</b>	<b>35</b>
<b>3.2.1 Classes de utilização .....</b>	<b>36</b>
<b>3.2.2 Estado de carga.....</b>	<b>36</b>
<b>3.3 Definição das solicitações atuantes sobre a estrutura.....</b>	<b>38</b>
<b>3.3.1 Solicitações principais atuantes sobre a estrutura.....</b>	<b>38</b>
<b>3.3.2 Solicitações devidas aos movimentos verticais .....</b>	<b>39</b>
<b>3.3.3 Solicitações devidas aos movimentos horizontais .....</b>	<b>39</b>
<b>3.3.3.1 Efeitos de Inércia devido à aceleração ou desaceleração.....</b>	<b>39</b>
<b>3.3.3.1.1 Solicitações horizontais .....</b>	<b>40</b>
<b>3.3.3.2 Reações horizontais transversais geradas pela translação direta .....</b>	<b>42</b>
<b>3.3.3.3 Efeitos de choque.....</b>	<b>43</b>
<b>3.3.4 Solicitações devido aos efeitos climáticos.....</b>	<b>43</b>
<b>3.3.4.1 Solicitações devido à ação do vento .....</b>	<b>43</b>
<b>3.3.4.2 Efeitos de temperatura.....</b>	<b>44</b>
<b>3.3.5 Solicitações diversas .....</b>	<b>44</b>
<b>3.4 Casos de solicitações .....</b>	<b>44</b>
<b>3.5 Coeficiente de majoração .....</b>	<b>45</b>
<b>3.6 Verificações a serem consideradas.....</b>	<b>45</b>
<b>3.6.1 Verificações contra escoamento .....</b>	<b>46</b>
<b>3.6.2 Verificação contra a deflexão.....</b>	<b>47</b>
<b>3.6.3 Verificação contra a flambagem global .....</b>	<b>47</b>
<b>3.6.4 Verificação contra tombamento.....</b>	<b>48</b>
<b>4 DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL .....</b>	<b>49</b>
<b>4.1 Classificação da estrutura.....</b>	<b>49</b>
<b>4.1.1 Classe de Utilização.....</b>	<b>49</b>
<b>4.1.2 Estado de Carga .....</b>	<b>50</b>
<b>4.2 Dimensionamento Estrutural .....</b>	<b>50</b>
<b>4.2.1 Viga Principal.....</b>	<b>51</b>
<b>4.2.1.1 Solicitações geradas pelos movimentos verticais .....</b>	<b>53</b>
<b>4.2.1.1.1 Solicitações devido ao peso próprio (<math>S_G</math>) .....</b>	<b>53</b>
<b>4.2.1.1.2 Solicitações devido à carga de serviço (<math>S_L</math>).....</b>	<b>54</b>
<b>4.2.1.2 Os efeitos horizontais mais desfavoráveis (<math>S_H</math>).....</b>	<b>57</b>

4.2.1.3 Reações horizontais transversais geradas pela translação direta .....	60
4.2.1.4 Verificações contra escoamento.....	63
4.2.1.5 Verificação da deflexão.....	64
4.2.2 Pernas .....	65
4.2.3 Vigas de ligação .....	69
4.2.3.1 Solicitações atuantes na estrutura .....	70
4.2.3.1.1 Solicitações atuantes devido ao peso próprio .....	70
4.2.3.1.2 Solicitações atuantes devido ao peso acima da viga de ligação .....	71
4.2.3.2 Verificação contra o escoamento. ....	72
4.2.4 Vigas de fechamento.....	73
4.2.5 Verificações finais .....	73
4.2.5.1 Verificação contra o tombamento.....	74
4.2.5.2 Verificação estrutural com auxílio do <i>software</i> .....	74
4.2.6 Representação do Pórtico Rolante .....	75
5 CONCLUSÃO .....	77
REFERÊNCIAS.....	79
ANEXOS .....	81
ANEXO A - Altura de viga de Ponte Rolante.....	82



## 1 INTRODUÇÃO

Com o crescimento industrial, as empresas tiveram que atualizar seus processos produtivos para continuarem competitivas, uma destas atualizações é a adaptação de seus equipamentos para facilitar a movimentação de materiais e produtos. Com isso foram introduzidas nas empresas as pontes e os Pórticos Rolantes com o intuito de diminuir tempo e facilitar a movimentação de materiais. Atualmente para cada tipo de situação encontrada, tipo de material a ser transportado e ramo da indústria, existe um equipamento específico, que promove a movimentação da melhor forma possível.

Segundo Tamasauskas (2000) para haver um processo com uma ótima disposição de máquinas, sempre que possível os equipamentos de elevação devem estar situados acima do plano de circulação, reduzindo assim os obstáculos. Porém em alguns processos existentes, isto não é possível, assim, nesses casos são utilizadas outras soluções, como Pórticos Rolantes, empilhadeiras, esteiras, entre outros.

A indústria nacional está cada vez mais exigente com a tecnologia e a segurança empregada a estes sistemas de elevação, assim foi criada uma norma específica, sendo a NBR 8400 (ABNT, 1984) – Cálculo de equipamento para levantamento e movimentação de cargas. A referida norma é utilizada para o cálculo e dimensionamento dos equipamentos de transporte e dos demais mecanismos do sistema de elevação de cargas.

Passos (2017) cita que devido ao Pórtico Rolante ser apoiado sobre trilhos fixados no solo, os mesmos podem virar obstáculos à movimentação de pessoas e

bens no nível do solo. O autor considera o fato como uma desvantagem da utilização de Pórtico Rolante e que deve ser levado em consideração no momento da escolha do equipamento.

Para Rudenko (1976), a elevada gama de sistemas de elevação é resultado da grande variedade e espécies de carga. Podendo ser empregadas para mover cargas nos mais diversos meios. Sendo o movimento de trabalho desses sistemas levantar e abaixar as cargas, em alguns sistemas podem também deslocar horizontalmente, girar ou mover-se em vários ângulos, sejam eles na direção vertical ou horizontal.

Para Sordi (2016), dependendo do tipo de indústria, existe um sistema de movimentação de cargas ideal, podendo esta movimentação ser realizada por meio de pontes rolantes, pórticos rolantes, empilhadeiras, transportadores pneumáticos, talhas, correias transportadoras, guindastes móveis entre outros.

De acordo com Tamasauskas (2000), a definição do equipamento requer um estudo aprofundado, pois um equipamento não deve tornar-se obsoleto a curto prazo e nem ter um projeto acima da expectativa de uso, para não gerar maior custo quando subutilizado. Sempre há a necessidade de prever a operação do sistema para definir a percentagem usual de carga de operação em relação a máxima carga e também a frequência com que esse equipamento será utilizado.

Para Passos (2017), os sistemas de elevação com Pórticos Rolantes podem ter capacidade de 80 toneladas e atingir 40 metros de vão, porém em alguns casos esses sistemas não são o suficiente, como mostra Gasparetto e Perreira (texto digital, 2013), aonde o Estaleiro de Rio Grande, adquiriu um Pórtico para a indústria naval, sendo considerado o maior já construído. Este possui capacidade de carga de 2000 toneladas, vão livre de 210 metros e altura de 110 metros. O Pórtico foi adquirido no ano de 2012, e apresenta a configuração mostrada na Figura 01.

Figura 01 - Pórtico Rolante no Estaleiro Rio Grande



Fonte: WTorre S.A. (2018, texto digital).

### 1.1 Justificativa do trabalho

Atualmente a movimentação interna de materiais e produtos em uma empresa que produz estruturas metálicas é realizada com o auxílio de carrinhos, pois as estruturas geralmente são pesadas e de grande porte e os componentes utilizados na fabricação são geralmente fabricados em grandes quantidades.

De acordo com Sordi (2016), ao utilizar alguns equipamentos, como uma empilhadeira para realizar o deslocamento de materiais no interior de um indústria os funcionários precisam improvisar suportes e amaras, ficando assim expostos a possíveis acidentes ocupacionais. Logo, ao adicionar uma ponte rolante ao processo, o mesmo ficaria mais produtivo e ergonômico.

Segundo Tamasauskas (2000), quando o objetivo é reduzir custos da produção, um dos fatores a ser considerado é diminuir as distâncias percorridas e o tempo da movimentação das matérias-primas no processo.

Para Silva (2016), as máquinas de transporte foram desenvolvidas para buscar aumento na produtividade da movimentação de materiais.

Com a tentativa de diminuir os custos gerados pelo tempo gasto nos processos de movimentação, de carga e descarga de materiais, bem como o zelo pela saúde e segurança dos seus funcionários. Iniciou-se assim o estudo da necessidade e da viabilidade econômica da instalação do Pórtico Rolante no interior do pavilhão onde está sediada a produção, pois o pavilhão não conta com a estrutura necessária para a implantação de uma Ponte Rolante.

O Pórtico Rolante em questão será desenvolvido e caso aprovado pela gerência, será produzido pela própria empresa. Os demais componentes do sistema fundamentais para promover o içamento da carga serão futuramente dimensionados, desta forma o presente trabalho tem como foco apenas o dimensionamento da estrutura da viga principal, bem como das vigas de fechamento e pernas que servirão de apoio para o Pórtico Rolante.

## **1.2 Delimitação do tema**

O presente trabalho visa o dimensionamento do Pórtico Rolante Univiga ou dupla viga, de acordo com os cálculos estruturais a serem realizados, serão feitas as análises de cargas e solicitações que atuarão na mesma. O dimensionamento e projeto dos demais componentes como talha, carro, motores e demais componentes não serão desenvolvidos nesta análise, logo, serão abordados apenas os itens que influenciam diretamente no dimensionamento.

## **1.3 Objetivos**

Dimensionar um Pórtico Rolante que será utilizado no carregamento, descarregamento e na movimentação interna de vigas metálicas produzidas em uma empresa do Vale do Taquari.

#### 1.4 Objetivos Específicos

Neste trabalho os objetivos específicos são:

- a) Classificar os sistemas de elevação e transporte;
- b) Utilizar a norma NBR 8400 (ABNT, 1984) para realizar o correto dimensionamento do Pórtico Rolante de acordo com a sua classe de utilização;
- c) Avaliar as cargas atuantes na estrutura e dos resultados obtidos através de *software*.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo serão apresentados os conceitos do tema a ser estudado. Inicialmente serão definidos os diferentes tipos de Pórtico Rolante. Na sequência serão apresentadas as normas vigentes relacionadas ao tema, bem como cálculos e o estado da arte.

### 2.1 Pórticos e Pontes Rolantes

Tamasauskas (2000) apresenta procedimentos básicos para determinar a sequência de projeto de uma Ponte Rolante, desde os objetivos para que se propõe o equipamento até a análise das partes estruturais, realizada de acordo com as recomendações da NBR 8400 (ABNT, 1984), que rege essa atividade. O trabalho do autor é dividido em capítulos específicos, aonde cada um trata de uma determinada parte do projeto, ao final o autor apresenta em um apêndice o projeto finalizado de uma Ponte Rolante de aplicação não-siderúrgica.

Remor (2012) utiliza algumas metodologias de projeto de produto para realizar o projeto conceitual de um Pórtico Rolante para movimentação de *pallets*, fazendo análise das necessidades de clientes e transformando estes dados em requisitos de projeto por meio de diagramas, que facilitam a visualização dos requisitos indispensáveis para o desenvolvimento do projeto. Ao fim apresentou a opção que melhor atendeu as exigências e necessidades levantadas durante a fase de projeto, permitindo assim a plena satisfação do cliente.

O dimensionamento realizado por Ribeiro (2011) permitiu a concepção do projeto de Pórtico Rolante com vão livre entre pernas de 13 metros e uma carga nominal de 30 toneladas que posteriormente foi instalado em uma pedreira fora da zona urbana. Teve como base as Normas F.E.M. (*Fédération Européenne De La Manutention* e o *Eurocódigo 3*), que são divididas em 8 cadernos, sendo utilizados pelo autor apenas os três primeiros. O Caderno 1 define o objetivo e a área de aplicação, o Caderno 2 classifica os aparelhos e as solicitações na estrutura e o Caderno 3 informa sobre o cálculos das tensões e verificações de segurança do Pórtico. Todas as determinações foram realizadas através do *software* de análise estrutural *Multiframe 3D*.

Faria (2015) projeta um Pórtico Rolante utilizado para suporte de robôs destinados a soldagem de grandes estruturas metálicas. O autor utilizou para a modelagem o *software Catia V5*, e com base nos resultados obtidos realizou a análise de cargas estáticas por meio do método dos elementos finitos, que é uma importante ferramenta para a compreensão e verificação de deslocamentos. Com bases nessas informações foi possível realizar a determinação dos modos naturais de vibração, que devido a finalidade do equipamento é um fator de grande importância. Após a construção do Pórtico foi possível verificar que o mesmo cumpre todos os requisitos traçados na fase de projeto.

Silva (2016) realiza o dimensionamento de um Pórtico Rolante com dupla viga de capacidade de 15 toneladas, utilizado para transporte de contêineres em um estaleiro. Com base na norma NBR 8400 (ABNT, 1984), o autor desenvolve o dimensionamento completo do equipamento, desde sua estrutura até os elementos utilizados na translação e no içamento das cargas. Os *softwares MDSolids, ANSYS* e *Mathematica* foram utilizados como auxílio ao dimensionamento, promovendo também uma redução no tempo de projeto. Já o detalhamento foi realizado através dos *softwares SolidWorks* e o *AutoCad*.

Almeida (2015) desenvolve uma ferramenta paramétrica que utiliza linguagem APDL de programação. O autor utilizou essa ferramenta junto ao *software ANSYS* para realizar o cálculo estrutural de um Pórtico Rolante de viga central. No trabalho o autor apresenta o desenvolvimento da ferramenta e como é o processo de utilização

da mesma, relatando redução no tempo de utilização do programa e na análise dos resultados obtidos na simulação do modelo gerado.

Sordi (2016), apresenta o dimensionamento de uma Ponte Rolante Univiga. O procedimento de cálculo estrutural utilizado pelo autor é baseado nas normas NBR 8400 (ABNT, 1984) e NBR 8800 (ABNT, 2008), aonde são estabelecidos os critérios do dimensionamento de equipamentos utilizados para transporte e elevação de cargas e os corretos parâmetros de dimensionamento de estruturas metálicas, respectivamente. O autor também realiza uma análise de elementos finitos com o *software Autodesk Inventor*, verificando que os níveis de deflexão e tensão se encontram abaixo dos limites estabelecidos pelas Normas.

Sena e Costa (2015) realizam o cálculo da estrutura, bem como dos mecanismos utilizados em um Pórtico Dupla Viga com balanço, com o intuito do mesmo ser utilizado na movimentação de bobinas em portos. Por estar sujeito ao ambiente portuário o autor realiza a análise do uso de um revestimento anticorrosivo no Pórtico. O autor utiliza a NBR 8400 (ABNT, 1984) e *softwares* como *MDSolids*, *Autocad* e Excel, para a realização do completo dimensionamento do Pórtico.

Sobue (2005) desenvolve uma ferramenta com o objetivo de automatizar o cálculo estrutural de um Pórtico Rolante, pois como o método dos elementos finitos requer um longo tempo para a geração dos modelos, este pode vir a interferir no cronograma do projeto, sendo assim necessária a utilização de um pré-processamento. Esse pré-processamento analisa várias alternativas e define a que melhor atende aos requisitos do projeto, utilizando uma rotina de cálculos que otimiza a estrutura e busca o menor custo possível. Com o intuito de buscar uma interface amigável, que realiza uma análise estrutural confiável e elabora automaticamente um memorial de cálculo, foi utilizado de maneira integrada os *softwares* Excel, ANSYS e também o *Mathcad*.

Pinheiro (2015) desenvolve um método completo que possibilita o projeto de uma linha de sistemas de elevação padronizadas, as chamadas Pontes Rolantes. Seu trabalho aborda o dimensionamento dos componentes principais, como polias, cabos de aço, motores e outros, fazendo a análise da estabilidade e das tensões da estrutura. O autor utiliza a norma NBR 8400 (ABNT, 1984), para desenvolver uma



sequência objetiva para a configuração dos equipamentos que podem ser utilizados em conjunto.

## **2.2 Vantagens dos sistemas de elevação**

De acordo com Passos (2017), entre as vantagens de sistemas de movimentação e elevação de cargas estão:

- a) Redução de custos, referentes a mão de obra, perdas durante armazenagem e despesas com transporte;
- b) Aumento na capacidade produtiva, sendo com a intensificação do fornecimento de matéria-prima, com exploração de espaços para estoques e melhorias na distribuição do armazenamento;
- c) Melhores condições de trabalho, com diminuição do risco de acidentes durante as operações e com a redução da fadiga dos funcionários;
- d) Melhorias nas distribuição, circulação e reposição de materiais que podem passar a ser estocados em locais mais distantes do ponto consumidor.

## **2.3 Diferentes tipos de sistema de elevação**

De acordo com Sordi (2016), dependendo da necessidade, há um equipamento ideal, e os sistemas de elevação como os Pórticos e as Pontes Rolantes seguem esse mesmo princípio.

As máquinas de elevação são mecanismos desenvolvidos com o intuito de mover cargas, principalmente separadas em lotes (RUDENKO, 1976).

Para Passos (2017), entre os equipamentos de movimentação e elevação de cargas, destaca-se os guindastes, talhas, guinchos, caminhões do tipo *munck*, Pontes e Pórticos Rolantes, etc. A seguir serão apresentados alguns modelos de Pontes e Pórticos Rolantes.

### **2.3.1 Ponte Rolante**

Passos (2017), define Ponte Rolante como um sistema de elevação e movimentação de cargas. Sendo composta por uma viga principal apoiada em dois trilhos paralelos engastados na estrutura da edificação. O propósito da mesma é içar uma carga e a movimentar nos três eixos, sendo esses movimentos motorizados e controlados por um operador em uma cabine, ou também podendo ser controlado por uma botoeira manuseada do solo. A viga principal tem seu movimento realizado no sentido transversal, deslocando-se pela extensão dos trilhos em planos horizontais. Uma das desvantagens deste sistema é necessidade do pré-dimensionamento das colunas da edificação para suportar as cargas geradas pelo próprio equipamento, além do investimento elevado, deve-se definir uma área para a movimentação e ter sempre um profissional qualificado operando o sistema.

As Pontes Rolantes são equipamentos que podem ser utilizados nos mais diversos processos, desde o carregamento e descarregamento de caminhões, até na alimentação de fornos ou no abastecimento de máquinas, além de apresentar ainda grande utilização em indústrias dos mais diversos ramos (GRUPO VENTOWAG, texto digital).

#### **2.3.1.1 Ponte Rolante Univiga**

Segundo o Grupo Ventowag (2018, texto digital), uma Ponte Rolante Univiga, ou também conhecida como Monoviga, é constituída apenas de uma viga principal que percorre trilhos engastados na edificação, na estrutura da viga principal movimenta-se a talha elétrica, responsável por realizar os movimentos horizontais e verticais, como pode-se verificar na Figura 02.

Figura 02 - Ponte Rolante Univiga



Fonte: Grupo Ventowag (2018, texto digital).

### 2.3.1.2 Ponte Rolante Dupla Viga

De acordo com o Grupo Ventowag (texto digital), a Ponte Rolante mostrada na Figura 03, é um sistema que utiliza Dupla Viga, sendo um sistema parecido com a Ponte Rolante Univiga, porém a carga é sustentada por duas vigas principais paralelas, que percorrem trilhos fixados à edificação.

Figura 03 - Ponte Rolante Dupla Viga



Fonte: Grupo Ventowag (2018, texto digital).

### 2.3.2 Pórtico Rolante

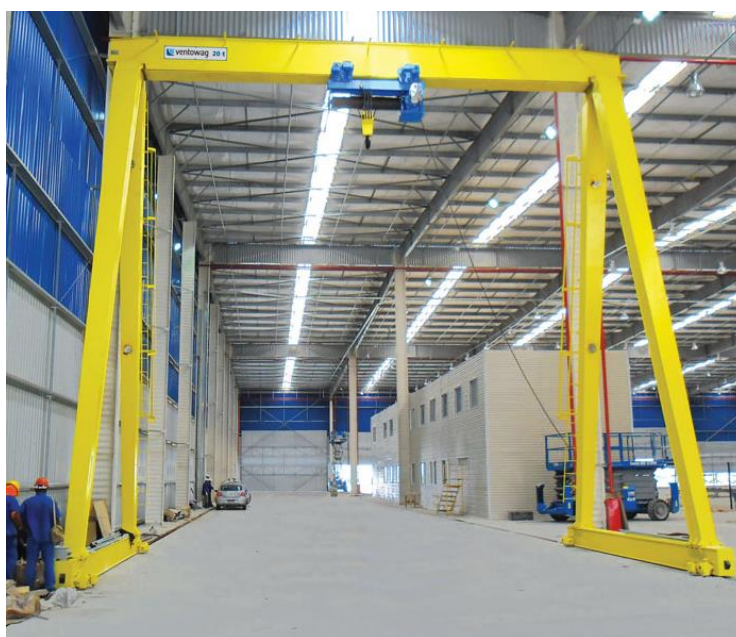
Para Passos (2017), Pórticos são equipamentos constituídos por vigas elevadas e autossustentáveis sobre trilhos, podendo essas serem simples ou duplas. Os Pórticos apresentam um sistema de elevação parecido com o das Pontes Rolantes, podendo ser utilizados no armazenamento de produtos e bens tanto em locais descobertos como cobertos, apresentam uma elevada gama de velocidades de elevação e translação, de acordo com as necessidades operacionais.

Os Pórticos Rolantes possuem algumas desvantagens quando comparado às Pontes Rolantes, pois os mesmos são menos seguros, interferem no tráfego de materiais a nível do solo, tem um custo maior de aquisição e possui uma limitação devido ao trilho de rolagem e pela altura da estrutura (TAMASAUSKAS, 2000).

#### 2.3.2.1 Pórtico Rolante Univiga

De acordo com Remor (2012), o Pórtico Rolante Univiga apresentado na Figura 04, também conhecido como Monobloco, é constituído apenas por uma viga principal, podendo essa ser fabricada com viga caixão ou perfil I.

Figura 04 - Pórtico Univiga



Fonte: Grupo Ventowag (2018, texto digital).

### 2.3.2.2 Pórtico Rolante Dupla Viga

Segundo Remor (2012), o Pórtico Rolante de Dupla Viga é uma solução geralmente utilizada com a finalidade de aumentar a produtividade de grandes empresas. Porém diferente do Pórtico Univiga, este equipamento possui capacidade de carga geralmente acima de 20 toneladas. Como pode ser visto na Figura 05, o sistema conta também com uma configuração que possui duplo balanço, aumentando assim a área de atuação do sistema para além dos trilhos.

Figura 05 - Pórtico Dupla Viga com Duplo Balanço



Fonte: Grupo Ventowag (2018, texto digital).

### 2.3.3 Semi-Pórtico

Segundo Almeida (2015) os Semi-Pórticos são sistemas utilizados para elevação e transporte de cargas aonde a viga principal possui um lado apoiado sobre um trilho que é suportado pela estrutura do edifício e o outro lado sustentado por colunas que transladam sobre os trilhos fixados no solo, podendo ser utilizado tanto dentro como na área externa de pavilhões. A Figura 06 exhibe um exemplo de Semi-Pórtico com dupla viga e balanço lateral.

Figura 06 - Semi-Pórtico



Fonte: Grupo Ventowag (2018, texto digital).

## 2.4 Modelagem dos componentes de um Pórtico Rolante

Segundo Sobue (2005), para a obtenção de resultados dos deslocamentos, tensões máximas e esforços solicitantes, é necessária a realização de uma análise estática linear dos elementos da viga. O carregamento principal das pernas é gerado por um momento fletor, oriundo das reações horizontais nos apoios do Pórtico.

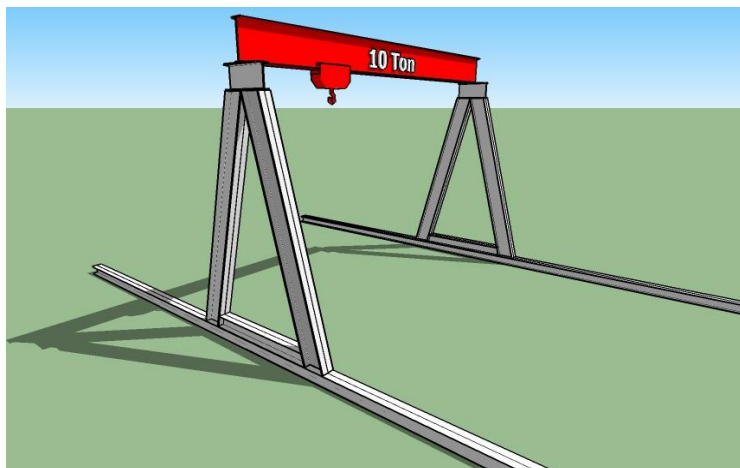
### 2.4.1 Viga principal

Conforme descrito anteriormente, o Pórtico Rolante pode ser composto por uma ou duas vigas principais, o que determina se o mesmo é Univiga ou Dupla Viga, respectivamente, conforme a configuração apresentada na Figura 07.

Segundo Almeida (2015), é na viga principal que estão as maiores solicitações estruturais, pois ela suporta o peso de todos os mecanismos e acessórios, bem como a carga a ser levantada. Essas vigas podem ser fabricadas de diferentes formas, podendo ser com chapas soldadas ou laminadas, perfil I ou W,

ou também sendo fabricado a partir de duas chapas superiores e duas chapas laterais, sendo chamado de perfil fechado ou viga caixão.

Figura 07 - Elementos utilizados como Viga Principal

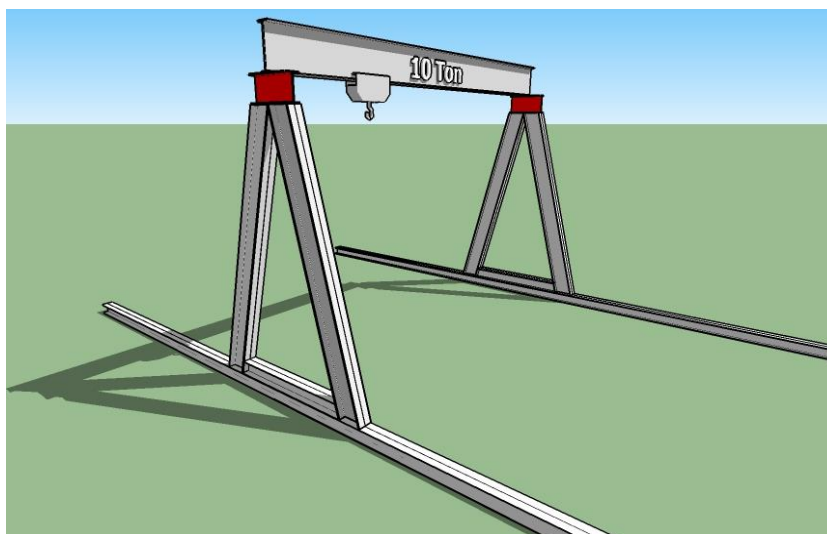


Fonte: do autor (2018).

#### 2.4.2 Vigas de fechamento

Segundo Sobue (2005), as vigas de fechamento (Figura 08) são utilizadas para ligar as duas vigas principais, formando assim um quadro, proporcionando com isso maior rigidez à torção ao Pórtico.

Figura 08 – Elementos utilizados como vigas de fechamento



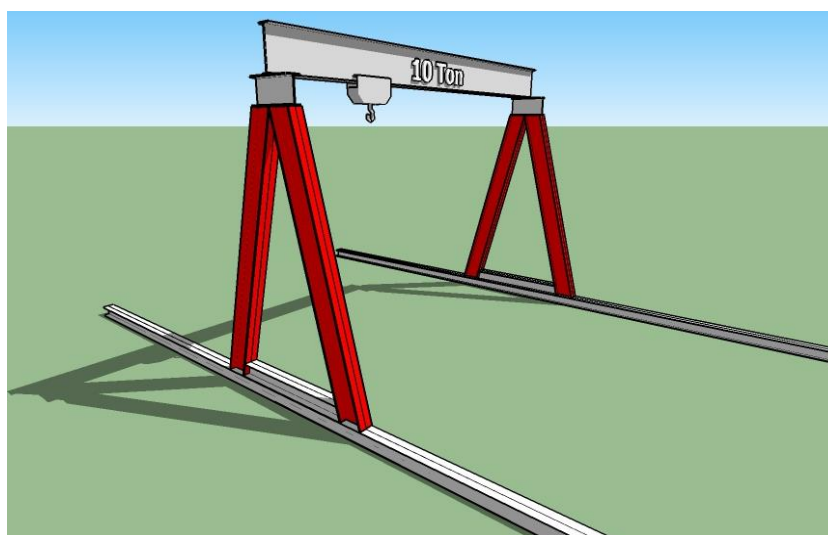
Fonte: do autor (2018).

### 2.4.3 Pernas

Segundo Almeida (2015), as pernas (Figura 09) são as estruturas responsáveis pela sustentação das vigas principais e de todos os mecanismos, dispositivos e acessórios. Nelas estão os esforços de compressão, além dos momentos fletores ocasionados pela flexão das vigas quando solicitadas.

Para Sobue (2005), em alguns casos é possível utilizar um par de pernas com rótulas, aliviando-as assim das tensões referentes a flexão, sendo assim, esse par de pernas possui uma seção uniforme, enquanto o outro par possui uma seção variável, aumentando sua geometria na extremidade superior.

Figura 09 – Elementos utilizados como Pernas



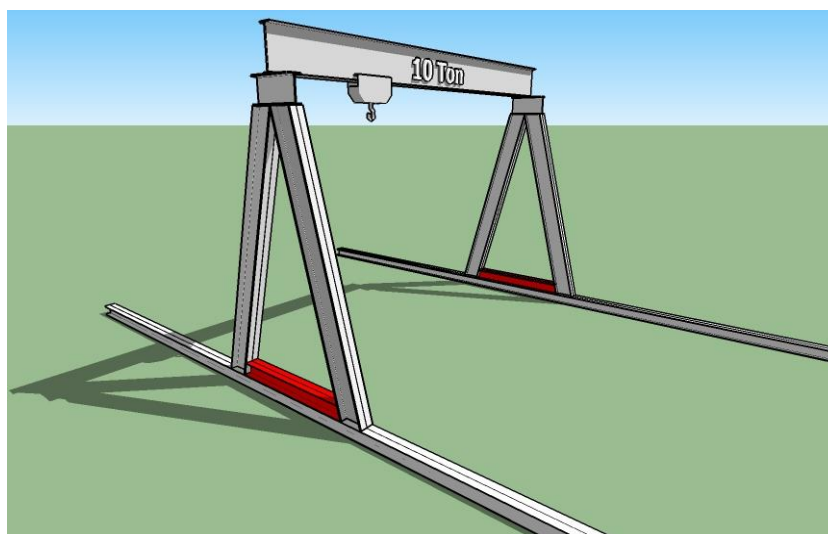
Fonte: do autor (2018).

### 2.4.4 Vigas de Ligação

De acordo com Sobue (2005), as vigas de ligação apresentadas na Figura 10, têm a função de travamento, localizadas na extremidade inferior das pernas do Pórtico, atribuindo assim, estabilidade a elas. Esta também pode ser chamada de Viga Cabeceira, quando o mecanismo de translação do Pórtico é montado nestas vigas.



Figura 10 – Elementos utilizados como vigas de Ligação



Fonte: do autor (2018).

## 2.5 NBR 8400 (ABNT, 1984)

A norma NBR 8400 (ABNT, 1984) tem como objetivo definir diretrizes para o cálculo estrutural e dos componentes dos equipamentos de elevação, independentemente do tipo de serviço do equipamento e do grau de complexidade do mesmo, determinando assim:

- a) Solicitações e combinações de solicitações;
- b) Condições de resistência dos diversos componentes;
- c) Condições de estabilidade.

### 2.5.1 Definições gerais da Norma

Alguns termos utilizados na NBR 8400 (ABNT, 1984), são de extrema importância para o correto entendimento do andamento do trabalho. Abaixo serão listados alguns termos que constam na Norma e foram utilizados durante o processo de dimensionamento do Pórtico Rolante

- a) Carga Útil – carga que é sustentada pelo gancho ou outro elemento de içamento;

- b) Carga de Serviço – carga útil acrescida da carga dos acessórios de içamento;
- c) Carga permanente – soma das cargas das partes mecânicas, estruturais e elétricas fixadas ao elemento, devidas ao peso próprio de cada parte;
- d) Serviço Intermitente – serviço em que o equipamento deve efetuar deslocamentos da carga com numerosos períodos de parada durante as horas de trabalho;
- e) Serviço intensivo – serviços em que o equipamento é quase permanentemente utilizado durante as horas de trabalho, sendo os períodos de repouso muito curtos, é o caso de equipamentos que estão incluídos em um ciclo de produção, devendo executar um número regular de operações;
- f) Turno – período de 8 horas de trabalho;
- g) Translação – deslocamento horizontal de todo o equipamento;
- h) Direção – deslocamento horizontal do carro do equipamento;
- i) Orientação - deslocamento angular horizontal da lança do equipamento.

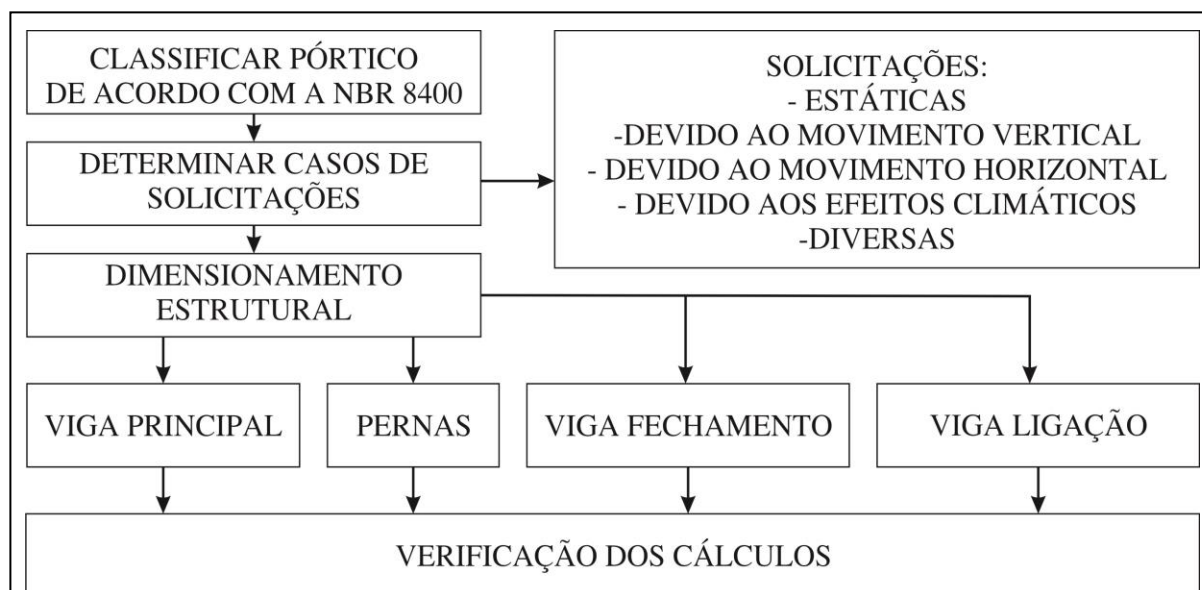
### 3 METODOLOGIA

De acordo com as informações coletadas no local aonde o Pórtico Rolante será instalado, o mesmo deverá conter algumas características específicas que são premissas levadas em consideração no momento em que é realizado o dimensionamento estrutural do equipamento. Sendo elas:

- a) Carga Nominal = 10 [ton.];
- b) Altura de Elevação (H) = 6,0 [m];
- c) Vão = 10,0 [m];
- d) Ciclagem média (N)= 6 [ciclos/h];
- e) Aplicação = Elevação de estruturas metálicas;
- f) Velocidade de elevação ( $V_L$ ) = 0,25 [m/s];
- g) Velocidade de deslocamento ( $V_D$ ) = 0,4 [m/s];
- h) Tempo de trabalho (T)= 8 [h/dia];
- i) Tempo de duração do Ciclo ( $T_s$ ) = 300 [s].

Para o dimensionamento do Pórtico, foi elaborado o Quadro 01, que descreve o fluxo a ser seguido para a obtenção do resultado esperado.

Quadro 01 – Fluxograma para andamento do trabalho



Fonte: O autor (2018).

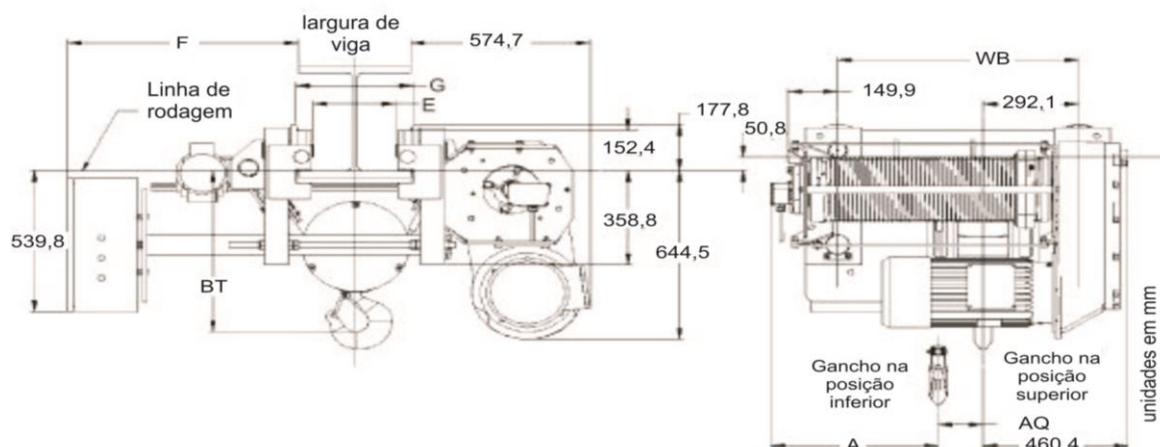
### 3.1 Sistemas de elevação

O dimensionamento do sistema de elevação, envolve a escolha do conjunto de *trolley* e talha que melhor se encaixa ao projeto do Pórtico, pois o peso do equipamento afetará diretamente no dimensionamento da viga principal. O sistema de elevação depende diretamente da disposição do equipamento e se o mesmo será um Pórtico Univiga ou Dupla Viga. Portanto abaixo seguem informações técnicas obtidas no catalogo do fabricante *Columbus McKinnon Corporation*, aonde foi escolhida a linha *Global King* devido as suas características de operação e duração.

#### 3.1.1 Sistema utilizados para Pórtico Univiga

Para o Pórtico Univiga, existe o seguinte sistema, apresentado na Figura 11, e suas características apresentadas na Tabela 01.

Figura 11 - Sistema de elevação para Pórtico Univiga



Fonte: Columbus McKinnon (2018, texto digital).

Tabela 01 - Propriedades do sistema de elevação para Pórtico Univiga

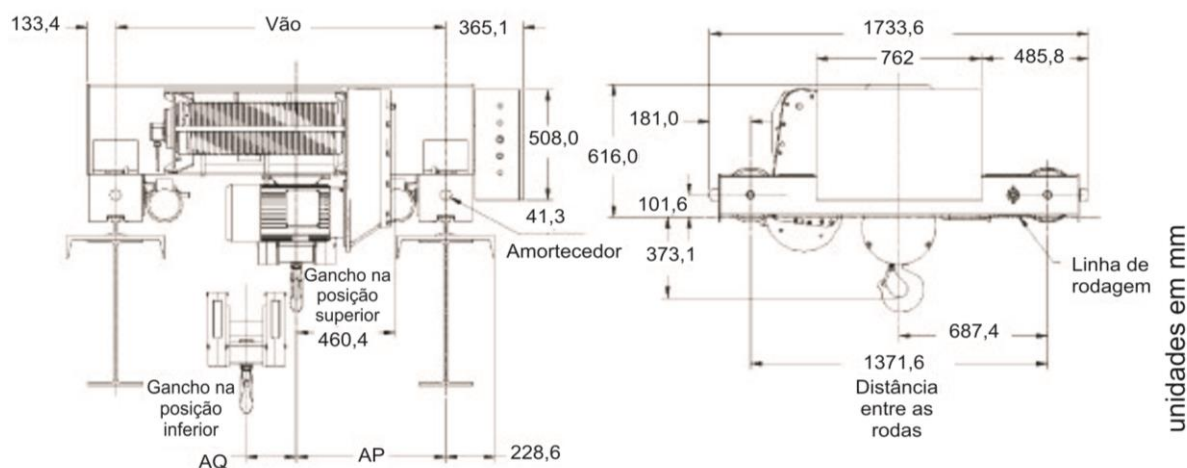
Cap. (t)	Talha				Trole		
	Máxima elevação (m)	Velocidade (m/min)	Motor (HP)	Nº Cabos e Ø	Velocidade (m/min)	Motor (HP)	Peso (kg)
10	7,6	6,1 - 1,5	15 - 3,75	4 - 12	15,2 - 5,2	0,75 - 0,25	794

Fonte: Adaptado pelo autor com base em Columbus McKinnon (2018, texto digital).

### 3.1.2 Sistema utilizado para Pórtico Dupla Viga

Já para o Pórtico Dupla Viga, o equipamento escolhido será o apresentado na Figura 12, com suas propriedades identificadas na Tabela 02.

Figura 12 - Sistema de elevação para Pórtico Dupla Viga



Fonte: Columbus McKinnon (2018, texto digital).

Tabela 02 - Propriedades do sistema de elevação para Pórtico Dupla Viga

Cap. (t)	Talha				Trole			
	Máxima elevação (m)	Velocidade (m/min)	Motor (HP)	Nº Cabos e Ø	Velocidade (m/min)	Motor (HP) (2)	Peso (kg)	Nº de Rodas e Ø
10	7,6	6,1 - 1,5	15 - 3,75	4 - 12	15,2 - 5,2	0,5 - 0,17	1050	4 - 203,2

Fonte: Adaptado pelo autor com base em Columbus McKinnon (2018, texto digital).

### 3.2 Classificação da estrutura

De acordo com a NBR 8400 (ABNT, 1984), os equipamentos de elevação são classificados em diversos grupos, de 1 a 6, como pode ser visto na Tabela 03, que determinam o fator do coeficiente de majoração, que será visto no item 3.5.

Tabela 03 - Classificação da estrutura dos equipamentos

Estado de carga	Classe de utilização e numero convencional de ciclos de levantamento			
	A $6,3 \times 10^4$	B $2,0 \times 10^5$	C $6,3 \times 10^5$	D $2,0 \times 10^6$
0 (muito leve) P=0	1	2	3	4
1 (leve) P = 1/3	2	3	4	5
2 (médio) P = 2/3	3	4	5	6
3 (pesado) P = 1	4	5	6	6

Fonte: NBR 8400 (ABNT, 1984, p.8).

Para fazer a determinação do grupo ao qual a estrutura pertence, serão considerados os seguintes fatores, que foram definidos nas etapas seguintes:

- a) Classe de Utilização;
- b) Estado de Carga.

### 3.2.1 Classes de utilização

De acordo com a NBR 8400 (ABNT, 1984), é a classe de utilização que define a frequência de utilização dos equipamentos, aonde por convenção definiu que a classificação será feita de acordo com o movimento de levantamento, pois ficaria inviável fazer essa classificação levando em consideração os diferentes ciclos de manobra.

Conforme a Tabela 04, estipula-se um número total de ciclos de levantamento realizados pelo equipamento durante sua vida útil, esse ciclo inicia-se no içamento da carga e termina no momento que terá início o içamento da carga seguinte. Esse valor de ciclos é levado em consideração na determinação das variações de tensões bem como na verificação à fadiga.

Tabela 04 - Classes de utilização

Classe de utilização	Frequência de utilização do movimento de levantamento	Número convencional de ciclos de levantamento ( $N_x$ )
A	Utilização ocasional não regular, seguida de longos períodos de repouso.	$6,3 \times 10^4$
B	Utilização regular em serviço intermitente	$2,0 \times 10^5$
C	Utilização regular em serviço intensivo	$6,3 \times 10^5$
D	Utilização em serviço intensivo severo, efetuado, por exemplo, em mais de um turno	$2,0 \times 10^6$

Fonte: NBR 8400 (ABNT, 1984, p.6).

### 3.2.2 Estado de carga

Segundo a NBR 8400 (ABNT, 1984), é o estado de carga que caracteriza a proporção em que o equipamento faz o içamento da carga máxima, ou alguma carga, ao longo de sua vida útil, conforme pode ser observado na Tabela 05, que considera na prática quatro estados convencionais de carga, caracterizados pelo valor de P, que é a carga.

Tabela 05 - Estado 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 carregados com a carga nominal turno	P = 1

Fonte: NBR 8400 (ABNT, 1984, p.6).

Para obter-se a classe de utilização é necessário primeiramente definir o tempo médio que o equipamento é utilizado diariamente ( $T_m$ ), esse valor pode ser obtido com a Equação 1. Aonde  $H$  é a altura de elevação,  $N$  é a ciclagem média,  $T$  é o tempo de trabalho diário e  $V_L$  é a velocidade utilizada na elevação.

$$T_m = \frac{2 \times H \times N \times T}{60 \times V_L} \quad (3.1)$$

Após obtido o valor de ( $T_m$ ), verifica-se na Tabela 06, a classe de funcionamento do equipamento, assim como a duração total teórica de utilização ( $T_d$ ).

Tabela 06 - Classe de funcionamento do equipamento

Classe de funcionamento	Tempo médio de funcionamento (h)	Duração total teórica de utilização (h)
V0,25	$t_m \leq 0,5$	$\leq 800$
V0,5	$0,5 \leq t_m \leq 1$	1600
V1	$1 \leq t_m \leq 2$	3200
V2	$2 \leq t_m \leq 4$	6300
V3	$4 \leq t_m \leq 8$	12500
V4	$8 \leq t_m \leq 16$	25000
V5	$T_m > 16$	50000

Fonte: NBR 8400 (ABNT, 1984, p.26).



Com o valor de ( $T_d$ ) obtido, é então calculado o número convencional de ciclos de levantamento ( $N_x$ ), utilizando a Equação 3.2, abaixo.

$$N_x = 3600 \times \frac{T_d}{T_s} \quad (3.2)$$

Utilizando o resultado da Equação 3.2 e a Tabela 4, é possível definir a classe de utilização.

### **3.3 Definição das solicitações atuantes sobre a estrutura**

Segundo a NBR 8400 (ABNT, 1984), o dimensionamento da estrutura utilizada no equipamento de elevação é realizado determinando as tensões atuantes sobre a mesma durante o período de funcionamento. As solicitações utilizadas para avaliar essas tensões são:

- a) Solicitações principais;
- b) Solicitações devidas ao movimento vertical;
- c) Solicitações devidas ao movimento horizontal;
- d) Solicitações devidas aos efeitos climáticos;
- e) Solicitações diversas.

#### **3.3.1 Solicitações principais atuantes sobre a estrutura**

As solicitações principais que irão atuar sobre a estrutura são:

- a) Solicitações devidas ao peso próprio dos elementos ( $S_G$ );
- b) Solicitações devidas à carga de serviço ( $S_L$ ).

Para o cálculo dessas solicitações, os elementos móveis são posicionados no local mais desfavorável à estrutura, assim exercendo neste ponto as tensões máximas.

### 3.3.2 Solicitações devidas aos movimentos verticais

O resultado do içamento brusco da carga de serviço e dos choques verticais ocasionados pelo rolamento dos carrinhos resulta nas solicitações devidas aos movimentos verticais. O içamento brusco da carga ocasiona oscilações, que devem ser levadas em conta. Desta forma as solicitações devidas à carga de serviço são multiplicadas pelo coeficiente dinâmico ( $\psi$ ), que pode ser obtido na Tabela 07.

Tabela 07 - Coeficiente dinâmico

Equipamento	Coeficiente dinâmico $\psi$	Faixa de velocidade de elevação de 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	$V_L \geq 1$

Fonte: Adaptado pelo autor com base na NBR 8400 (ABNT, 1984, p.10).

### 3.3.3 Solicitações devidas aos movimentos horizontais

As seguintes solicitações ocorrem devido aos movimentos horizontais:

- a) Efeitos de inércia devido à aceleração ou desaceleração;
- b) Reações horizontais transversais geradas pela translação direta;
- c) Efeitos de choque.

#### 3.3.3.1 Efeitos de Inércia devido à aceleração ou desaceleração

Os elementos móveis, como a movimentação da estrutura sobre os trilhos e a movimentação da carga sofrem incidência dos efeitos da inércia, desta forma devem ser levados em consideração no cálculo da estrutura. Os efeitos são calculados em diferentes elementos da mesma, em função de seu tempo de aceleração e desaceleração.

A Tabela 08 é utilizada para obter-se os tempos de aceleração e as acelerações de acordo com a velocidade de elevação e as condições de utilização a seguir:

- a) Equipamentos de velocidade lenta e média, devendo percorrer um longo percurso;
- b) Equipamentos de velocidade média e alta em aplicações comuns;
- c) Equipamentos de alta velocidade com fortes acelerações.

Tabela 08 - Tempos de aceleração e acelerações

Velocidade a atingir		Equipamentos de velocidade lenta e média		Equipamentos de velocidade média e alta (aplicações comuns)		Equipamentos de alta velocidade com fortes acelerações	
(m/s)	(m/min)	Tempos de Aceleração (s)	Acelerações (m/s <sup>2</sup> )	Tempos de Aceleração (s)	Acelerações (m/s <sup>2</sup> )	Tempos de Aceleração (s)	Acelerações (m/s <sup>2</sup> )
4,00	240	-	-	8,0	0,50	6,0	0,67
3,15	189	-	-	7,1	0,44	5,4	0,58
2,50	150	-	-	6,3	0,39	4,8	0,52
2,00	120	9,1	0,22	5,6	0,35	4,2	0,47
1,60	96	8,3	0,19	5,0	0,32	3,7	0,43
1,00	60	6,6	0,15	4,0	0,25	3,0	0,33
0,63	37,8	5,2	0,12	3,2	0,19	-	-
0,40	24	4,1	0,098	2,5	0,16	-	-
0,25	15	3,2	0,078	-	-	-	-
0,16	9,6	2,5	0,064	-	-	-	-

Fonte: NBR 8400 (ABNT, 1984, p.11).

### 3.3.3.1.1 Solicitações horizontais

Segundo a NBR 8400 (ABNT, 1984), para determinar as solicitações horizontais no pórtico devido ao movimento do mesmo e considerando a carga limite, deve-se levar em consideração a seguinte metodologia de cálculo.

a) Massa equivalente ( $M_{eq}$ ). É a massa de todo o sistema do Pórtico Rolante, considerando a carga de serviço, bem como o sistema de elevação. A massa do conjunto de elementos de elevação é definida através do item 3.1.

b) Força de inércia média ( $F_{CM}$ ). É a força que a inércia exerce sobre os elementos do sistema de elevação. Pode ser definida através da Equação 3.3 abaixo, aonde ( $m_1$ ) é a massa, e ( $J_m$ ) é a aceleração média, encontrada na Tabela 08.

$$F_{CM} = m_1 \times J_m \quad (3.3)$$

c) Período de oscilação ( $T_1$ ), pode ser obtido através da Equação 3.4. Aonde ( $l$ ) é a altura de suspensão da carga no local mais elevado e ( $g$ ) é aceleração da gravidade.

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \quad (3.4)$$

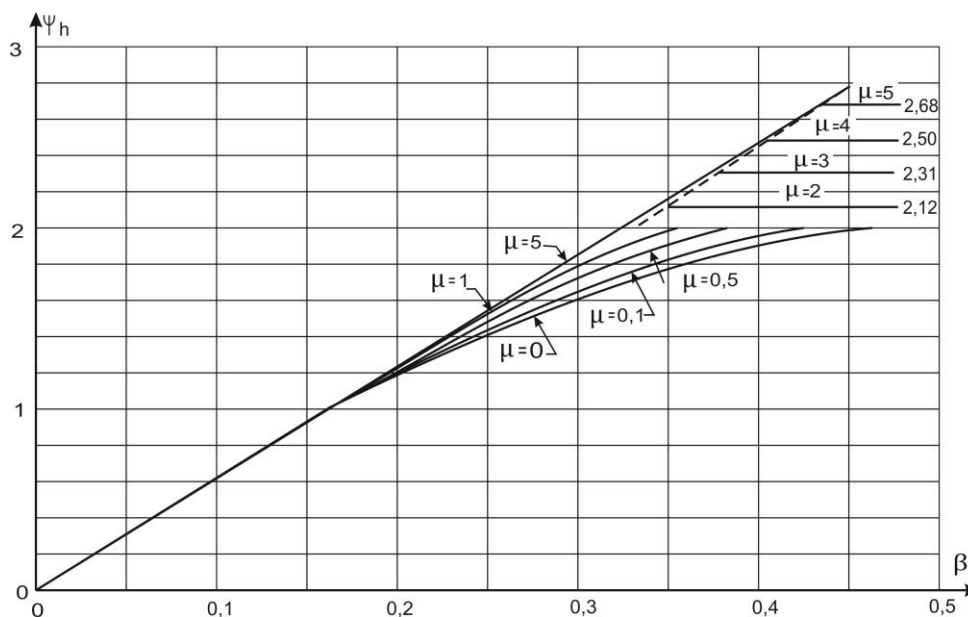
d) Coeficiente ( $\mu$ ). Segundo a NBR 8400 (ABNT, 1984), quando o sistema tem seu movimento controlado através de um equipamento, é adotado o valor de ( $\mu$ ) = 0. Caso contrário esse coeficiente pode ser calculado pela relação entre as massas. Através da Equação 3.5, aonde ( $m_1$ ) é a massa da carga, e ( $m$ ) é a massa equivalente.

$$\mu = \frac{m_1}{m} \quad (3.5)$$

e) Coeficiente ( $\beta$ ). É a relação entre a duração média de aceleração pelo período de oscilação, como pode ser visto na Equação 3.6.

$$\beta = \frac{T_m}{T_1} \quad (3.6)$$

f) Coeficiente ( $\psi_h$ ). Com os valores encontrado nos coeficientes ( $\mu$ ) e ( $\beta$ ), encontra-se na Figura 13 o valor de ( $\psi_h$ ).

Figura 13 - Valores do coeficiente  $\psi_h$ 

Fonte: NBR 8400 (ABNT, 1984, p.52).

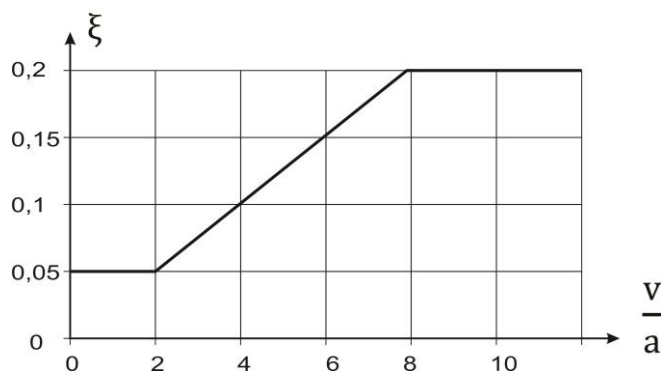
g) Forças de inércia devido a carga, podem ser encontradas com a Equação 3.7.

$$F_{in} = \psi_h \times F_{CM} \quad (3.7)$$

### 3.3.3.2 Reações horizontais transversais geradas pela translação direta

Para a NBR 8400 (ABNT, 1984) as solicitações horizontais transversais são geradas pelo desalinhamento da carga de trabalho ou mesmo pelo travamento inesperado das rodas do *trolley*.

Figura 14 - Coeficiente que determina as reações devidas ao rolamento



Fonte: NBR 8400 (ABNT, 1984, p.11).

Conforme a NBR 8400 (ABNT, 1984), para a realização do cálculo dessa solicitação deve-se considerar a carga de trabalho exercida nas rodas do *trolley*, multiplicadas pelo coeficiente ( $\xi$ ) que pode ser obtido na Figura 14. Esse coeficiente depende diretamente da relação entre o vão ( $v$ ), e a distância entre eixos do *trolley* ( $a$ ), tendo assim:  $\frac{v}{a}$ .

### 3.3.3.3 Efeitos de choque

Segundo a NBR 8400 (ABNT, 1984), em casos de possíveis oscilações, os efeitos de choque não são levados em consideração para deslocamentos horizontais menores que 0,7 m/s.

Nesse trabalho admite-se a velocidade de deslocamento de 0,4 m/s, portanto não há necessidade de considerar este efeito.

### 3.3.4 Solicitações devido aos efeitos climáticos

De acordo com a NBR 8400 (ABNT, 1984), as solicitações referentes aos efeitos climáticos ocorrem devido:

- a) A ação do vento;
- b) A variação de temperatura.

#### 3.3.4.1 Solicitações devido à ação do vento

Segundo a NBR 8400 (ABNT, 1984), as solicitações devido aos efeitos do vento sobre as estruturas dependem essencialmente do equipamento e do local aonde o mesmo será instalado, pois como admite-se que o vento atua horizontalmente em todas as direções, e de acordo com presente trabalho o Pórtico Rolante a ser dimensionado será utilizado no interior de um pavilhão, as ações devido ao vento podem ser desconsideradas.

### **3.3.4.2 Efeitos de temperatura**

De acordo a NBR 8400 (ABNT, 1984), as variações de temperatura devem ser consideradas em casos particulares, aonde os elementos da estrutura não podem dilatar. Para os casos normais pode-se considerar uma variação de temperatura de 10°C negativos até 50°C positivos.

### **3.3.5 Solicitações diversas**

Para a NBR 8400 (ABNT, 1984), este estado de solicitações deve ser incluído no dimensionamento quando a Ponte Rolante ou o Pórtico Rolante possuir plataforma, cabine ou passadiços. Nesses casos deve-se considerar uma carga de:

- a) 3000N para acessos e passadiços de manutenção aonde possa ser depositado algum material;
- b) 1500N em casos aonde o passadiço é destinado apenas a passagem de pessoas.

Neste trabalho, essas solicitações serão desconsideradas, pois não haverá cabine ou passadiço.

## **3.4 Casos de solicitações**

De acordo com a NBR 8400 (ABNT, 1984), nos cálculos são previstos os seguintes casos de solicitações:

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

O equipamento será utilizado dentro de um pavilhão, não apresentando solicitações devido ao vento, desta forma será adotado o caso I.

Ainda segundo a NBR 8400 (ABNT, 1984), em alguns casos, devido a erros no dimensionamento ou imprevistos, as solicitações podem ser ultrapassadas,

portanto utiliza-se um coeficiente de majoração ( $M_x$ ), apresentando na Tabela 09 abaixo. Esse coeficiente é dependente da classificação do equipamento, como visto no item 3.2.

A NBR 8400:1984, define que para o caso I, devem ser considerados as três solicitações abaixo, multiplicados pelo coeficiente de majoração ( $M_x$ ) e pelo coeficiente dinâmico ( $\psi$ ).

- a) As solicitações estáticas devido ao peso próprio da estrutura ( $S_G$ );
- b) As solicitações devido à carga de serviço ( $S_L$ );
- c) Os efeitos horizontais mais desfavoráveis ( $S_H$ ).

A partir destes conceitos, obtêm-se a equação 3.7.

$$M_x \times (S_G + \psi S_L) + S_H \quad (3.7)$$

### 3.5 Coeficiente de majoração

Conforme o grupo 2 escolhido na Tabela 03, pode-se definir o coeficiente de majoração, expresso na Tabela 09 abaixo.

Tabela 09 - Valores do coeficiente de majoração

GRUPOS	1	2	3	4	5	6
$M_x$	1	1	1	1,06	1,12	1,20

Fonte: NBR 8400 (ABNT, 1984, p.15).

### 3.6 Verificações a serem consideradas

Para que haja garantia de que a estrutura dimensionada não sofra nenhum tipo de dano devido às cargas, deve-se fazer algumas verificações para constatar se o material utilizado e as dimensões utilizadas para a seção dos perfis são compatíveis com a estrutura.



### 3.6.1 Verificações contra escoamento

Segundo a NBR 8400 (ABNT, 1984), para verificar as condições de escoamento deve-se encontrar o caso de solicitação a qual o equipamento pertence, então encontra-se na Tabela 10 a expressão a ser considerada para a tensão admissível à tração.

Tabela 10 - Tensão admissível à tração

Casos de Solicitação	Caso I	Caso II	Caso III
Tensão Admissível ( $\sigma_a$ )	$\frac{\sigma_e}{1,5}$	$\frac{\sigma_e}{1,33}$	$\frac{\sigma_e}{1,1}$

Fonte: NBR 8400 (ABNT, 1984, p.16).

Para realizar a verificação das solicitações por cisalhamento puro, pode-se considerar a Equação 3.8.

$$\tau_a = \frac{\sigma_a}{\sqrt{3}} \quad (3.8)$$

De acordo com a NBR 8400 (ABNT, 1984), devem ser realizadas três verificações, caso existam. Primeiro, as tensões normais devem ser menores ou iguais a tensão admissível ao escoamento ( $\sigma_a$ ). Ao utilizar-se essas informações em conjunto com a Equação 3.7, chega-se a Equação 3.9.

$$\sigma = M_x \times (S_G + \psi S_L) + S_H \leq \sigma_a \quad (3.9)$$

Em segundo, para o cisalhamento, o esforço cisalhante ( $\tau_{xy}$ ), deve ser menor ou igual à tensão admissível ao cisalhamento ( $\tau_a$ ). Utilizando a Equação 3.7, chega-se a Equação 3.10.

$$\tau = M_x \times (\tau_G + \psi \tau_L) + \tau_H \leq \tau_a \quad (3.10)$$

Em terceiro, deve-se verificar as tensões de comparação, que combinadas devem ser menores ou iguais a tensão admissível ao escoamento ( $\sigma_a$ ), assim tem-se a Equação 3.11.

$$\sigma_{cp} = M_x \times \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3\tau_{xy}^2} \leq \sigma_a \quad (3.11)$$

### 3.6.2 Verificação contra a deflexão

Para realizar a verificação da deflexão segundo a NBR 8400 (ABNT, 1984), as vigas principais devem ser dimensionadas com uma contraflecha aonde a deflexão é causada pelo peso próprio somados a metade do peso do carro *trolley* e da carga máxima, representados na Equação 3.12, assim fica a critério de quem está realizando o dimensionamento aplicar a contraflecha quando o valor calculado entre 1/2000 do vão, ou 5 milímetros, o que for maior.

$$P1 = S_G + 0,5.S_L \quad (3.12)$$

### 3.6.3 Verificação contra a flambagem global

De acordo com a NBR 8400 (ABNT, 1984), todos os componentes estruturais submetidos a compressão, devem sofrer verificação, de acordo com a Equação 3.13, aonde o resultado da tensão total ( $\sigma$ ), multiplicada pelo coeficiente de flambagem ( $\omega$ ) encontrado na Tabela 11, deve ser menor que a tensão admissível ( $\sigma_a$ ).

$$\sigma\omega \leq \sigma_a \quad (3.13)$$

Para o coeficiente de flambagem ser determinado, primeiro deve ser calculado o coeficiente de esbeltez ( $\lambda$ ), de acordo com a Equação 3.14.

$$\lambda = \frac{kL}{r} \quad (3.14)$$

Aonde o comprimento de flambagem ( $kL$ ) é dividido pelo raio de giração ( $r$ ), obtido na Equação 3.15

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} \quad (3.15)$$

Tabela 11 - Valor do coeficiente  $\omega$  em função de  $\lambda$ 

$\lambda$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
20	1,04	1,04	1,04	1,05	1,05	1,06	1,06	1,07	1,07	1,08
30	1,08	1,09	1,09	1,10	1,10	1,11	1,11	1,12	1,13	1,13
40	1,14	1,14	1,15	1,16	1,16	1,17	1,18	1,19	1,19	1,20
50	1,21	1,22	1,23	1,23	1,24	1,25	1,26	1,27	1,28	1,29
60	1,30	1,31	1,32	1,33	1,34	1,35	1,36	1,37	1,39	1,40
70	1,41	1,42	1,44	1,45	1,46	1,48	1,49	1,50	1,52	1,53
80	1,55	1,56	1,58	1,59	1,61	1,62	1,64	1,66	1,68	1,69
90	1,71	1,73	1,74	1,76	1,78	1,80	1,82	1,84	1,86	1,88
100	1,90	1,92	1,94	1,96	1,98	2,00	2,02	2,05	2,07	2,09
110	2,11	2,14	2,16	2,18	2,21	2,23	2,27	2,31	2,35	2,39
120	2,43	2,47	2,51	2,55	2,60	2,64	2,68	2,72	2,77	2,81
130	2,85	2,90	2,94	2,99	3,03	3,08	3,12	3,17	3,22	3,26
140	3,31	3,36	3,41	3,45	3,50	3,55	3,60	3,65	3,70	3,75
150	3,80	3,85	3,90	3,95	4,00	4,06	4,11	4,16	4,22	4,27
160	4,32	4,38	4,43	4,49	4,54	4,60	4,65	4,71	4,77	4,82
170	4,88	4,94	5,00	5,05	5,11	5,17	5,23	5,29	5,35	5,41
180	5,47	5,53	5,59	5,66	5,72	5,78	5,84	5,91	5,97	6,03
190	6,10	6,16	6,23	6,29	6,36	6,42	6,49	6,55	6,62	6,69

Fonte: NBR 8400 (ABNT, 1984, p.18).

### 3.6.4 Verificação contra tombamento

Segundo a NBR 8400 (ABNT, 1984), a estabilidade ao tombamento deve ser calculada de acordo com os efeitos dinâmicos aos quais a estrutura está exposta, aonde a relação entre o momento de estabilidade e o momento de tombamento deve ser maior que o coeficiente de majoração contra o tombamento.

## 4 DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL

Neste capítulo serão abordadas as definições, bem como realizados os cálculos necessários para o dimensionamento estrutural do Pórtico Rolante.

### 4.1 Classificação da estrutura

Assim as definições realizadas nas etapas 4.1.1 e 4.1.2, são:

- a) Classe de Utilização = A;
- b) Estado de Carga = 1 (leve), sendo assim  $P = 1/3$ .

Utilizando-se essas informações em conjunto com a Tabela 03, pode-se classificar a estrutura como Grupo 2.

Através da classificação pode-se utilizar a Tabela 10 para definir o Coeficiente de Majoração ( $M_x$ ) = 1

#### 4.1.1 Classe de Utilização

Para encontrar a classe de utilização do equipamento deve-se primeiro fazer o uso da Equação 3.1 para definir o tempo médio de utilização diário do equipamento. Levando em consideração altura de elevação ( $H$ ) = 6[m], a ciclagem média ( $N$ ) = 6 [ciclos/h], o tempo de trabalho ( $T$ ) = 8 [h/dia] e a velocidade de elevação ( $V_L$ ) = 0,25 [m/s], obtêm-se um tempo médio ( $T_m$ ) = 0,64 [h].

Agora pode-se verificar na Tabela 06, a classe de funcionamento do equipamento, V0,5. Obtendo-se também a duração total teórica de utilização ( $T_d$ ) 1600h.

Com o valor de ( $T_d$ ) = 1600 [h] definido, é então calculado o número convencional de ciclos de levantamento ( $N_x$ ), através da Equação 3.2. Aonde o tempo de duração do ciclo ( $T_s$ ) = 300 [s], resultando em ( $N_x$ ) = 19200, que utilizado em conjunto com a Tabela 4, obtém-se a classe de utilização A.

#### 4.1.2 Estado de Carga

Para o Pórtico Rolante em questão, definiu-se seguindo os levantamentos feitos no local aonde o mesmo será instalado e as descrições da Tabela 05, que a melhor definição para o equipamento é o estado de carga 1 (leve), aonde o equipamento raramente levanta a carga nominal e comumente cargas da ordem de 1/3 da carga nominal.

#### 4.2 Dimensionamento Estrutural

O dimensionamento estrutural será realizado com o auxílio do critério de Brasil (1988) e também com a utilização dos *softwares* *MDSolids* e *Stabile mCalc3D*, utilizados para verificar as tensões atuantes na estrutura. Para o dimensionamento dos elementos estruturais, leva-se em consideração as solicitações atuantes descritas no item 3.3.

Neste item serão dimensionados os seguintes elementos.

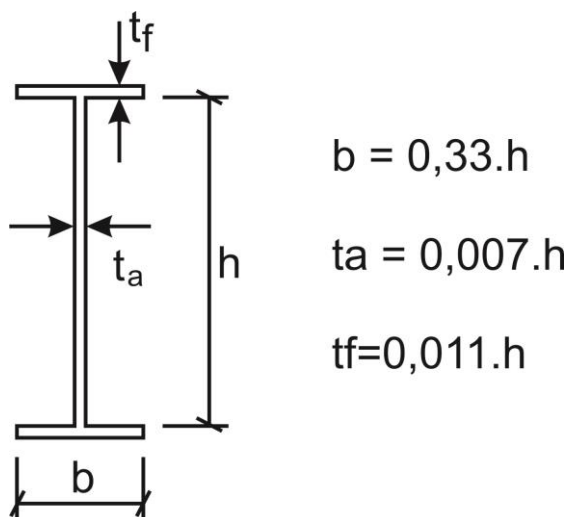
- a) Viga principal;
- b) Vigas de fechamento;
- c) Pernas;
- d) Vigas de ligação.

### 4.2.1 Viga Principal

Para dimensionar o perfil da viga principal, será utilizado o critério de Brasil (1988), aonde com o comprimento da viga principal, e a carga a ser içada, estima-se um perfil, aonde as dimensões seguem parâmetros geométricos, que podem ser encontrados no ábaco que está no Anexo A.

Ao utilizar ábaco, considerando um vão de 10 [m] de largura e uma carga de 10 [ton.] estima-se uma altura de viga  $h = 88$  [cm]. Utilizando o mesmo ábaco, é possível também encontrar fórmulas matemáticas para definir as espessuras da alma e da base, como pode ser visualizado na Figura 15.

Figura 15 - Representação perfil I



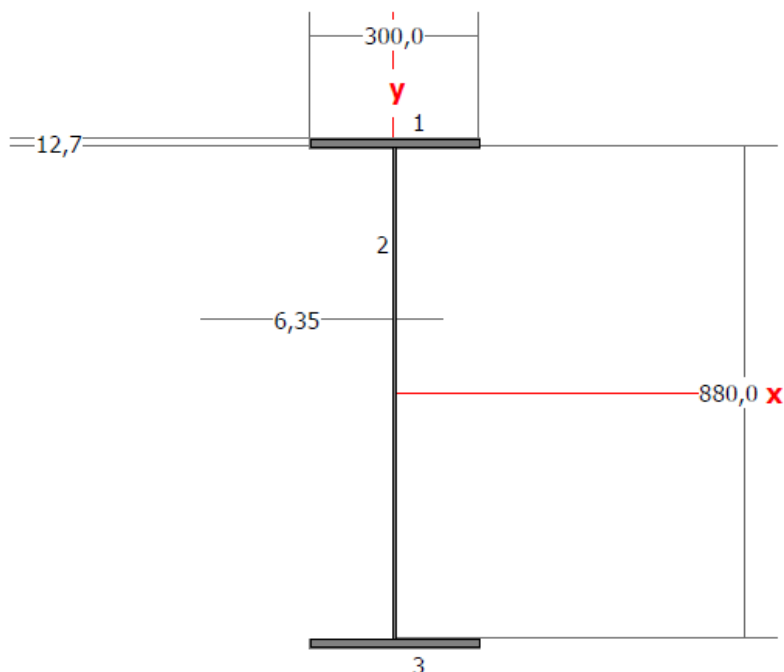
Fonte: do autor (2018).

A partir das especificações geométricas apresentadas acima, pode-se definir as demais dimensões da seção, assim:

- $b = 0,33 \times 880 = 290,4$  [mm]. Será utilizado 300 [mm];
- $t_a = 0,007 \times 880 = 6,16$  [mm]. Será utilizado chapa de 1/4" (6,35mm);
- $t_f = 0,011 \times 880\text{mm} = 9,68$  [mm]. Será utilizado chapa de 1/2" (12,7mm).

Com essas especificações geométricas calculadas e definidas, será possível determinar exatamente a seção que viga principal irá possuir, apresentada na Figura 16.

Figura 16 - Seção da viga principal



Fonte: do autor (2018).

Através das dimensões do perfil, é possível determinar os valores dos momentos de inércia, módulos resistentes referentes aos eixos x e y. Essas propriedades foram calculadas com auxílio do *software mCalc3D*, também é possível definir a massa e o peso por metro da viga, para isso é considerado o material com uma massa específica de  $(\rho) = 7850 \text{ [kg/m}^3\text{]}$ . A seguir apresenta-se a Tabela 12, com as propriedades da viga.

Tabela 12 - Dados da viga principal

Dados da Viga Principal					
Wx	4150286	mm <sup>3</sup>	Área Total	13208	mm <sup>2</sup>
Wy	381125,2	mm <sup>3</sup>	Massa	1036,8	kg
Ix	1878834503	mm <sup>4</sup>	Peso	10171,28	N
Iy	57168777	mm <sup>4</sup>	Área da Alma	5749,3	mm <sup>2</sup>

Fonte: do autor (2018).

Após o perfil estar devidamente dimensionado, deve-se considerar todas as solicitações necessárias. Com o intuito de garantir sua integridade serão feitas verificações contra esforço cortante, momento fletor e escoamento.

#### 4.2.1.1 Solicitações geradas pelos movimentos verticais

Para encontrar as solicitações geradas pelos movimentos verticais e sabendo que a velocidade de içamento do Pórtico Rolante é 0,25 [m/s], utiliza-se a Tabela 07, para encontrar o coeficiente dinâmico ( $\psi$ ) = 1,15, a ser utilizado no momento em que são realizadas as verificações contra o escoamento.

Como visto no item 3.4, dentre as solicitações geradas pelos movimentos verticais, enquadram-se as solicitações devido ao peso próprio e devido a carga de serviço.

##### 4.2.1.1.1 Solicitações devido ao peso próprio ( $S_G$ )

As solicitações devido ao peso próprio são definidas por uma carga distribuída. Esse carregamento é calculado utilizando a Equação 4.1. Aonde a área ( $A$ ) = 0,013208 [m<sup>2</sup>], a massa específica ( $\rho$ ) = 7850 [kg/m<sup>3</sup>] e a gravidade utilizada ( $g$ ) = 9,81 [m/s].

$$w_1 = A \times \rho \times g \quad (4.1)$$

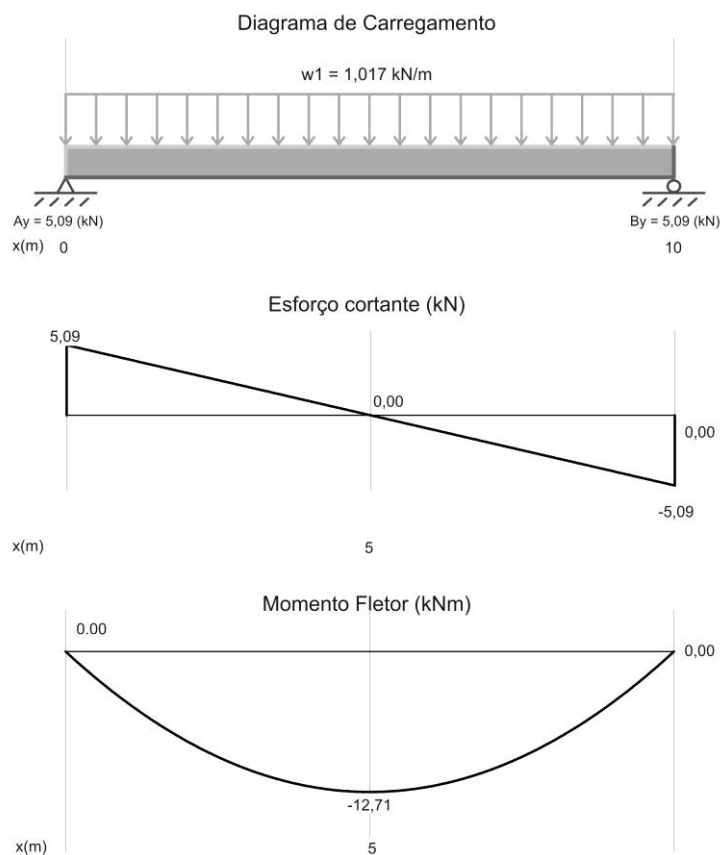
Com a carga ( $w_1$ ) = 1,017 [kN/m] definida, pode-se encontrar os diagramas de esforço cortante e momento fletor gerados por esta carga, apresentados na Figura 17. Para a realização dos diagramas foram utilizados dois *softwares*, o mCalc3D e o *MDSolids*.

A tensão é calculada na Equação 4.2, através do momento fletor máximo ( $M_{m\acute{a}x}$ ) = 12,71 [kNm] encontrado no diagrama da Figura 17 e do módulo resistente da seção ( $W_x$ ) = 4,15x10<sup>-3</sup> [m<sup>3</sup>], encontrado na Tabela 12. Assim o resultado da tensão devido ao peso próprio é ( $S_G$ ) = 3,06 MPa.

$$S = \frac{|M_{m\acute{a}x}|}{W_x} \quad (4.2)$$



Figura 17 - Diagramas devidos ao peso próprio



Fonte: do autor (2018).

#### 4.2.1.1.2 Solicitações devido à carga de serviço ( $S_L$ )

Segundo a NBR 8400 (ABNT, 1984), a Carga de Serviço pode ser definida pela carga útil acrescida da carga dos acessórios de içamento, logo, a carga de serviço pode ser definida pela Equação 4.3. Sendo carga útil ( $Q$ ) = 10 [ton.] e para peso dos acessórios será utilizado o peso do *Trolley* ( $T$ ) = 794 [kg]. Assim para a carga de serviço será utilizado ( $S_L$ ) = 105,9 [kN]

$$\text{Carga de Serviço} = S_L = (Q + T) \times g \quad (4.3)$$

Para as solicitações devidas à carga de serviço, através da análise estática, pode-se observar que o ponto aonde a viga sofre o máximo fletor é em suas extremidades. Como o *trolley* se desloca através dos 10 [m] da viga, são realizadas duas análises, uma com a carga no centro do vão, e outra devido ao *trolley* não

conseguir chegar nas extremidades, portanto a carga será inserida a 0,5 metro da extremidade da viga.

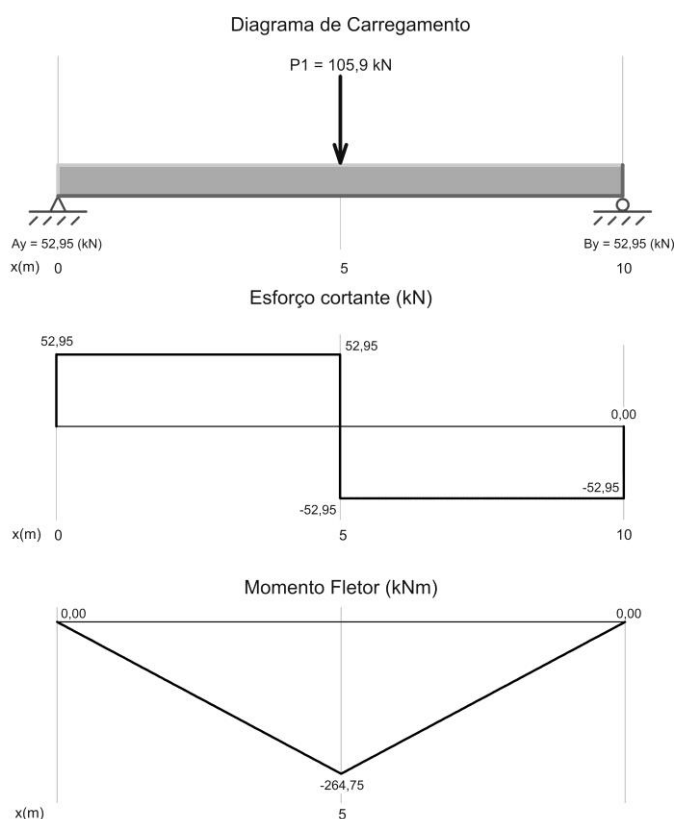
Para a primeira análise considera-se a carga sendo aplicada no centro da viga principal, ou seja, a 5,0 metros de suas extremidades. Como pode ser verificado na Figura 18, obtendo um esforço cortante de 52,95 [kN] e um momento fletor máximo de 264,75 [kNm].

O cálculo da tensão cisalhante é realizado utilizando a razão entre o cortante ( $V$ ) = 52,95 [kN] no ponto aonde ocorre o momento fletor máximo e a área da alma ( $A$ ) =  $5,749 \times 10^{-3}$  [m<sup>2</sup>], utilizando a Equação 4.4, chega-se a ( $\tau_{SL5m}$ ) = 9,21 [MPa].

$$\tau_{SL} = \frac{V}{A} \quad (4.4)$$

Considerando momento fletor máximo resultante da carga aplicada no centro da viga, pode-se calcular com a Equação 4.2, aonde ( $M_{m\acute{a}x}$ ) = 264,75 [kNm] e ( $W_x$ ) =  $4,15 \times 10^{-3}$  [m<sup>3</sup>]. Assim a sollicitação devido a carga de serviço ( $S_{L5m}$ ) = 63,79 [MPa].

Figura 18 - Diagramas devido a carga de serviço aplicada a 5 metros

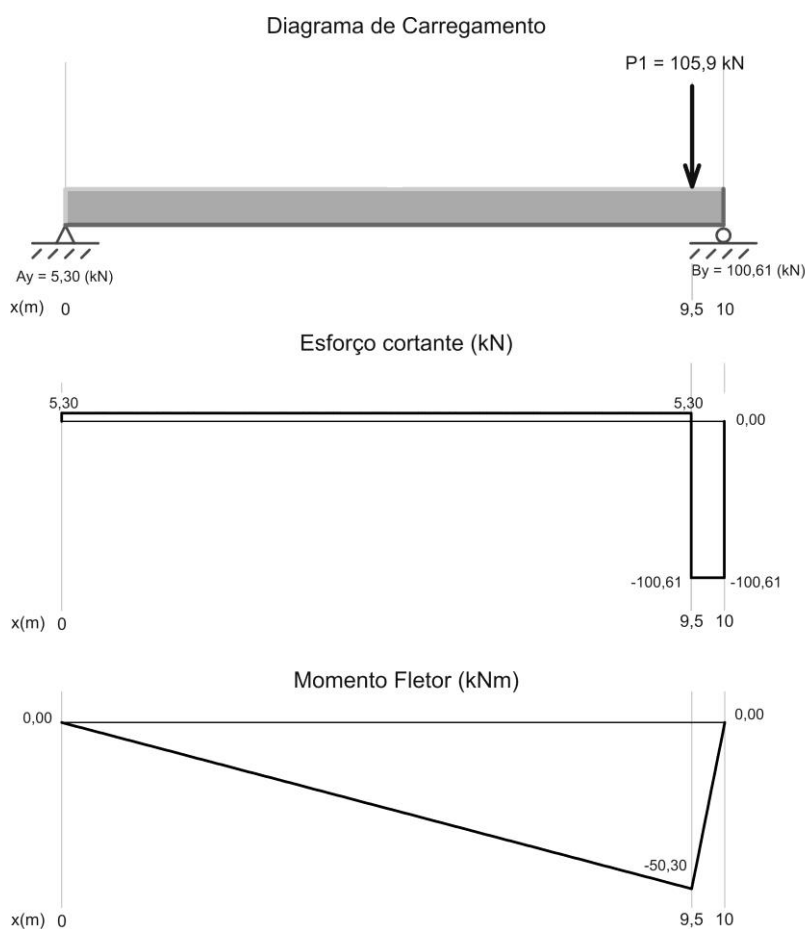


Fonte: do autor (2018).

Na segunda análise considera-se a carga sendo aplicada a 9,5 metros de uma de suas extremidades e a 0,5m da outra. Como pode ser verificado na Figura 19, obtendo um esforço cortante máximo de 100,61 [kN] e um momento fletor máximo de 50,30 [kNm].

O cálculo da tensão cisalhante é realizado utilizando a razão entre o cortante ( $V$ ) = 100,61 [kN] no ponto aonde ocorre o momento fletor máximo e a área da alma ( $A_A$ ) = 5749,3 [mm<sup>2</sup>], utilizando a Equação 4.4, chega-se a ( $\tau_{SL,9,5m}$ ) = 17,50 [MPa].

Figura 19 - Diagramas devido a carga de serviço aplicada a 9,5 metros



Fonte: do autor (2018).

Considerando momento fletor máximo resultante da carga aplicada no centro da viga, pode-se calcular na Equação 4.2, aonde ( $M_{m\acute{a}x}$ ) = 50,30 [kNm] e ( $W_x$ ) =  $4,15 \times 10^{-3}$  [m<sup>3</sup>]. Assim a sollicitação devido a carga de serviço ( $S_{L,9,5m}$ ) = 12,12 [MPa].

#### 4.2.1.2 Os efeitos horizontais mais desfavoráveis ( $S_H$ )

Segundo a NBR 8400 (ABNT, 1984), para determinar as solicitações horizontais no pórtico devido ao movimento do mesmo e considerando a carga limite, deve-se levar em consideração a seguinte metodologia de cálculo, descrita no item 3.3.3.1.1.

Para iniciar o procedimento de cálculo das solicitações horizontais, deve-se definir massas dos elementos da estrutura, para após encontrar a massa equivalente ( $M_{eq}$ ), que é a massa de todo o sistema do Pórtico Rolante, considerando a carga de serviço, bem como o sistema de elevação. A massa do conjunto de elementos de elevação é definida através do item 3.1.

- a) Massa carga útil = 10000 [kg];
- b) Massa da viga principal = 1036,8 [kg];
- c) Massa dos pilares = 1350 [kg];
- d) Massa das vigas de ligação = 262,5 [kg];
- e) Massa trolley = 794 [kg].

Assim obtêm-se uma ( $M_{eq}$ ) = 13443,3 [kg].

Resolvendo a Equação 3.3 que calcula a força de inércia média, sabendo que a carga ( $M_{eq}$ ) = 13443,8 [kg] e ( $J_m$ ) = 0,078 [m/s<sup>2</sup>] obtém-se o valor de ( $F_{CM}$ ) = 1048,6 [N].

O período de oscilação ( $T_1$ ) = 4,91 [s], pode ser obtido através da Equação 3.4. Aonde ( $l$ ) = 6 [m], que é a altura de suspensão da carga no local mais elevado e ( $g$ ) = 9,81 [m/s<sup>2</sup>] é aceleração da gravidade.

Segundo a NBR 8400 (ABNT, 1984), quando o sistema tem seu movimento controlado através de um equipamento, é adotado o valor de  $\mu = 0$ . Como o Pórtico Rolante desenvolvido contará com controle de aceleração, desaceleração e torque, pode ser adotado o valor de  $\mu = 0$ .

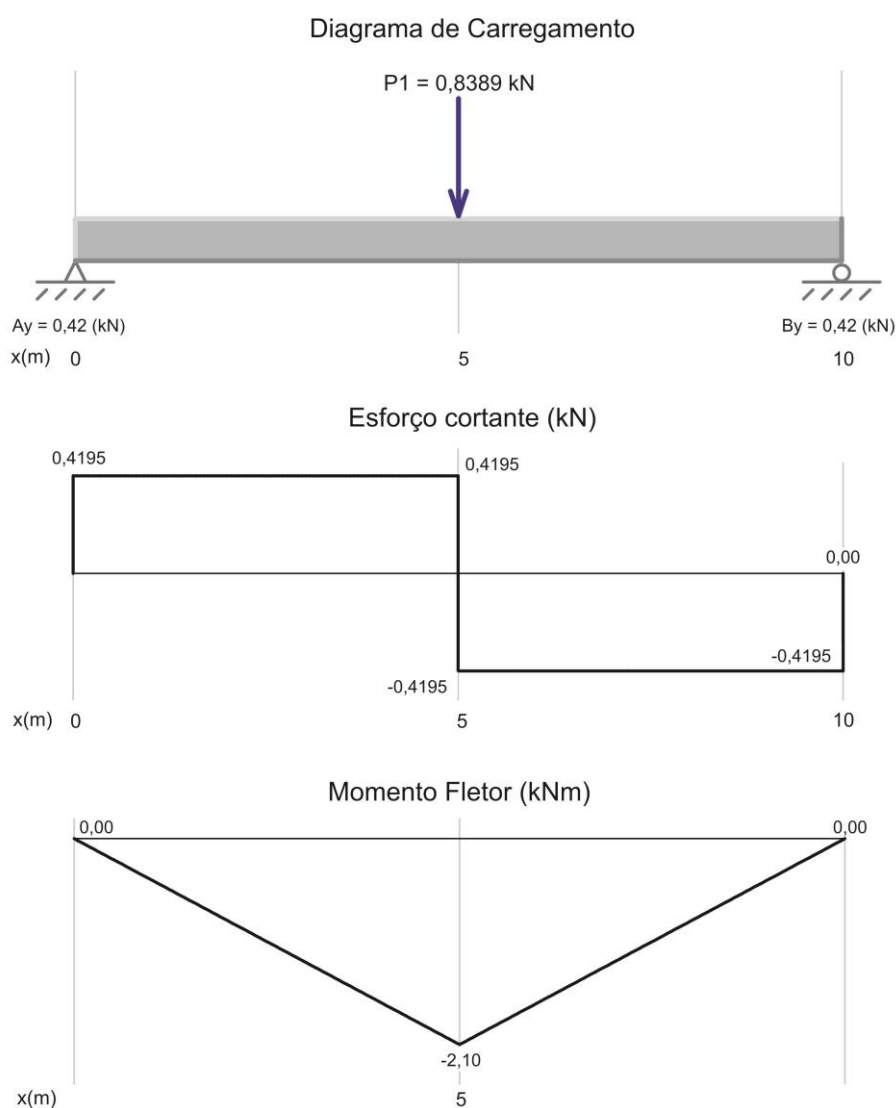
Considerado os valores de ( $T_m$ ) = 0,64 [h] e ( $T_1$ ) = 4,91[s], pode-se encontrar através da Equação 3.6 o Coeficiente ( $\beta$ ) = 0,13. Que é a relação entre a duração

média de aceleração pelo período de oscilação. Com os valores encontrados nos coeficientes ( $\mu$ ) = 0 e ( $\beta$ ) = 0,13 encontra-se na Figura 13 o valor de  $\psi_h = 0,8$ .

Utilizando a Equação 3.7 encontra-se a força de inércia devido a carga ( $F_{in}$ ) = 838,9 [N] = 0,8389 [kN], que é aplicada em duas situações distintas, uma no centro do vão e outra a 9,5 [m] de uma das extremidades, assim como realizou-se na seção 4.2.1.1.2.

Para a primeira análise considera-se a carga sendo aplicada no centro da viga principal, ou seja, a 5,0 [m] de suas extremidades. Como pode ser verificado na Figura 20, obtendo um esforço cortante de 0,4195 [kN] e um momento fletor máximo de 2,10 [kNm].

Figura 20 - Diagramas devido a solicitação horizontal aplicada a 5 metros



Fonte: do autor (2018).

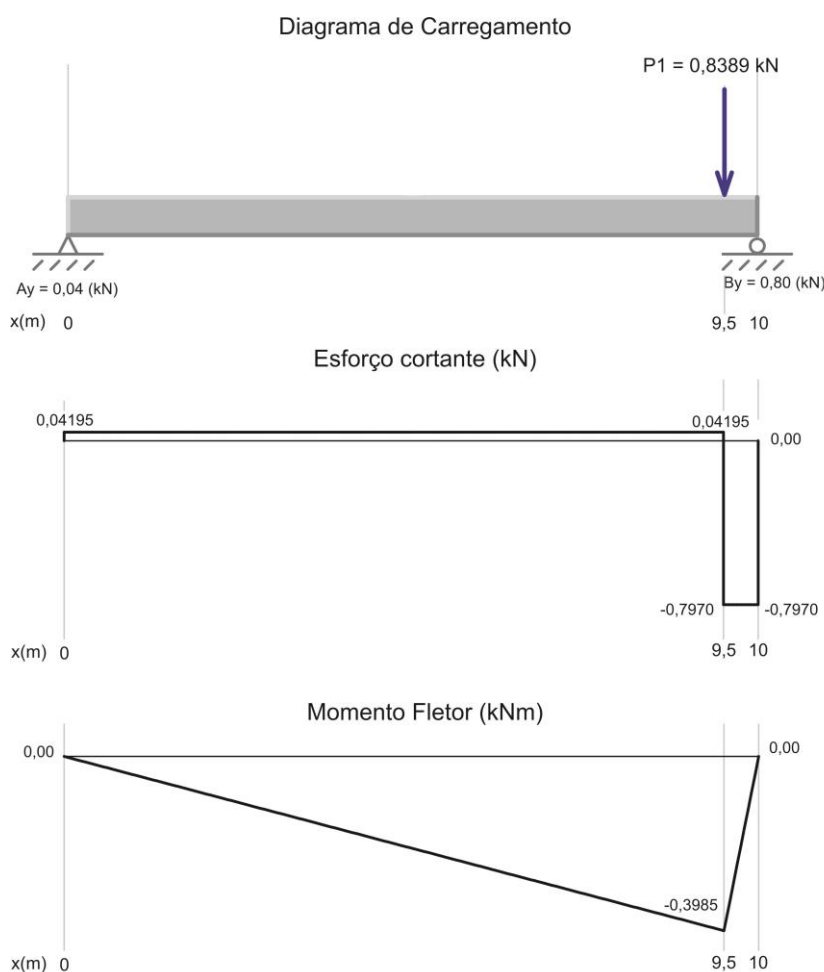
O cálculo da tensão cisalhante pode ser desconsiderado devido ao valor do esforço cisalhante ser  $(V) = 0,4195$  [kN], logo a tensão cisalhante resultante será muito pequena.

Considerando momento fletor máximo resultante da carga aplicada no centro da viga, pode-se calcular com a Equação 4.5, aonde  $(M_{m\acute{a}x}) = 2,10$  [kNm] e  $(W_y) = 3,811252 \times 10^{-4}$  [m<sup>3</sup>]. Assim a sollicitação devido a carga de serviço  $(S_{H5m}) = 5,51$  [MPa].

$$S = \frac{|M_{m\acute{a}x}|}{W_y} \quad (4.5)$$

Para a segunda análise considera-se a carga sendo aplicada a 9,5 [m] de uma de suas extremidades. Como pode ser analisado na Figura 21, obtendo um esforço cortante de 0,7970 [kN] e um momento fletor máximo de 0,3985 [kNm].

Figura 21 - Diagramas devido a sollicitação horizontal aplicada a 9,5 metros



Fonte: do autor (2018).

O cálculo da tensão cisalhante também pode ser desconsiderada devido aos valores dos esforços cisalhantes serem muito pequenos.

Considerando momento fletor máximo resultante da carga aplicada a 9,5 [m], pode-se calcular com a Equação 4.2, aonde  $(M_{m\acute{a}x}) = 0,3985$  [kNm] e  $(W_y) = 3,811252 \times 10^{-4}$  [m<sup>3</sup>]. Assim a solicitação devido a carga de serviço  $(S_{H9,5m}) = 1,045$  [MPa].

#### 4.2.1.3 Reações horizontais transversais geradas pela translação direta

De acordo com o item 3.3.3.2, para a realização do cálculo dessa solicitação, deve-se primeiro encontrar valor do coeficiente ( $\xi$ ) e em seguida encontrar a carga de trabalho exercida nas rodas do *trolley*.

Para encontrar esse coeficiente, é necessário levar em consideração o sistema de elevação que será utilizado. Para o Pórtico Univiga, de acordo com a Figura 11 e considerando as características apresentadas na Tabela 13, obtêm-se a relação  $(\frac{v}{a}) = 0,373$ , aonde o vão ( $v$ ) é 285,7 [mm], e a distância entre eixos do *trolley* ( $a$ ) = 765,2 [mm]. Ao verificar essa relação na Figura 14, encontra-se um valor para o coeficiente ( $\xi$ ) de 0,05.

Tabela 13 - Características dimensionais do *trolley* para sistema Univiga

Características do <i>trolley</i> utilizado viga com Base de 304,8mm							
A	AQ	WB	BT	E	F	G	PESO
533,4	142,9	765,2	649,3	212,7	792,2	E+73mm	794kg

Fonte: Adaptado pelo autor com base em Columbus McKinnon (2018, texto digital).

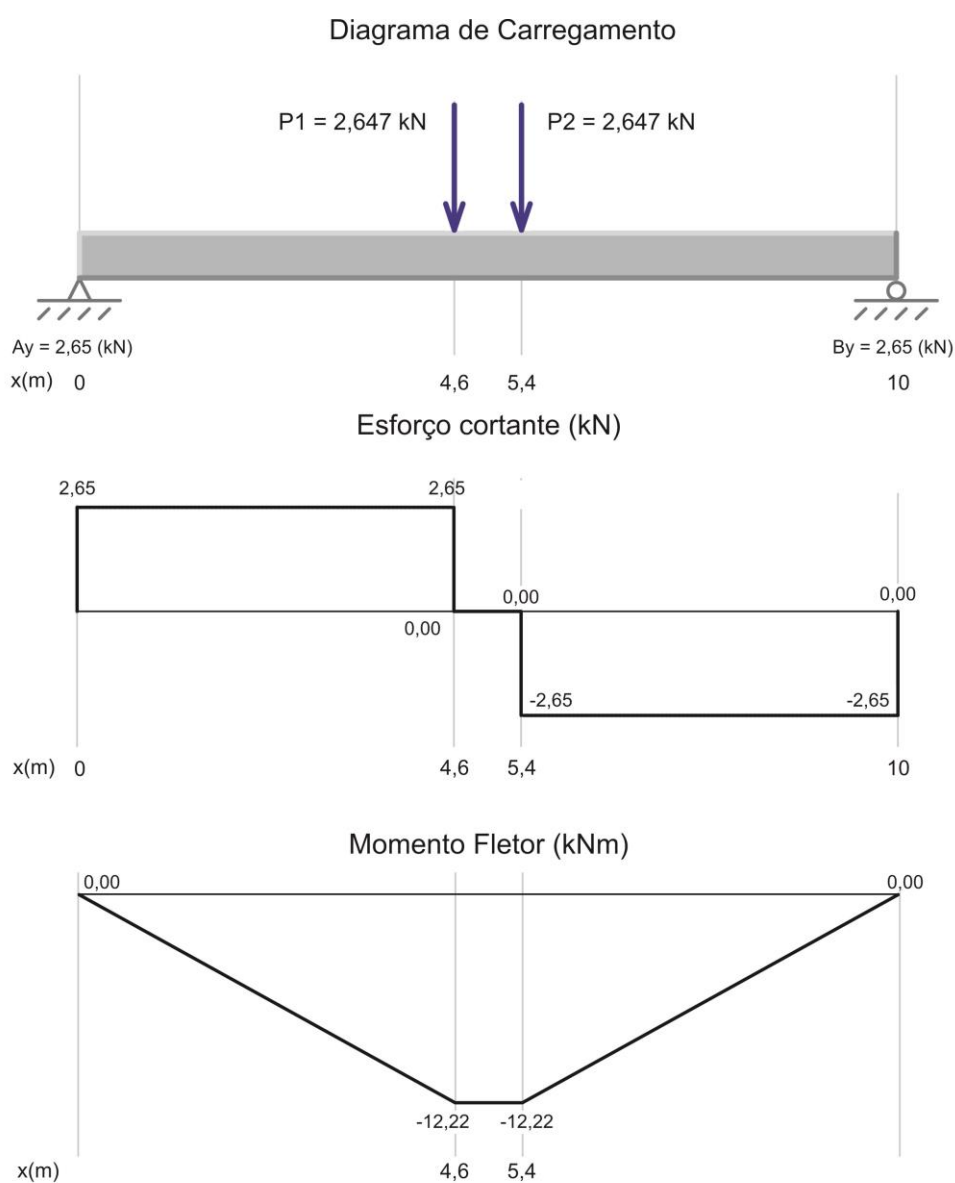
A carga ( $P$ ) = 5,294 [kN] é encontrada pela Equação 4.7, aonde carga a ser içada ( $Q$ ) = 10000 [kg], a massa dos acessórios de içamento ( $T$ ) = 794 [kg] e o coeficiente ( $\xi$ ) = 0,05. Logo tem-se a Equação 4.6.

$$P = (Q + T) \cdot g \cdot \xi \quad (4.7)$$

Essa carga ( $P$ ) = 5,294 [kN], deve ser aplicada na viga, sendo dividida entre duas rodas e com uma distância entre elas igual a distância entre os eixos do *trolley*. Essas cargas serão aplicadas considerando o *trolley* no centro da viga e a 9,5 [m] de uma de suas extremidades

Para a primeira análise considera-se o *trolley* no centro da viga principal, ou seja, a 5 [m] de suas extremidades. Como pode ser verificado na Figura 22, obtendo um esforço cortante de 2,65 [kN] e um momento fletor máximo de 12,22 [kNm].

Figura 22 - Reações horizontais transversais com *trolley* no centro da viga



Fonte: do autor (2018).



Considerando momento fletor máximo resultante do *trolley* aplicado no centro da viga, pode-se calcular com a Equação 4.5, aonde  $(M_{\text{máx}}) = 12,22$  [kNm] e  $(W_y) = 3,811252 \times 10^{-4}$  [m<sup>3</sup>]. Assim a sollicitação devido as reações horizontais transversais geradas pela translação direta é  $(S_H) = 32,06$  [MPa].

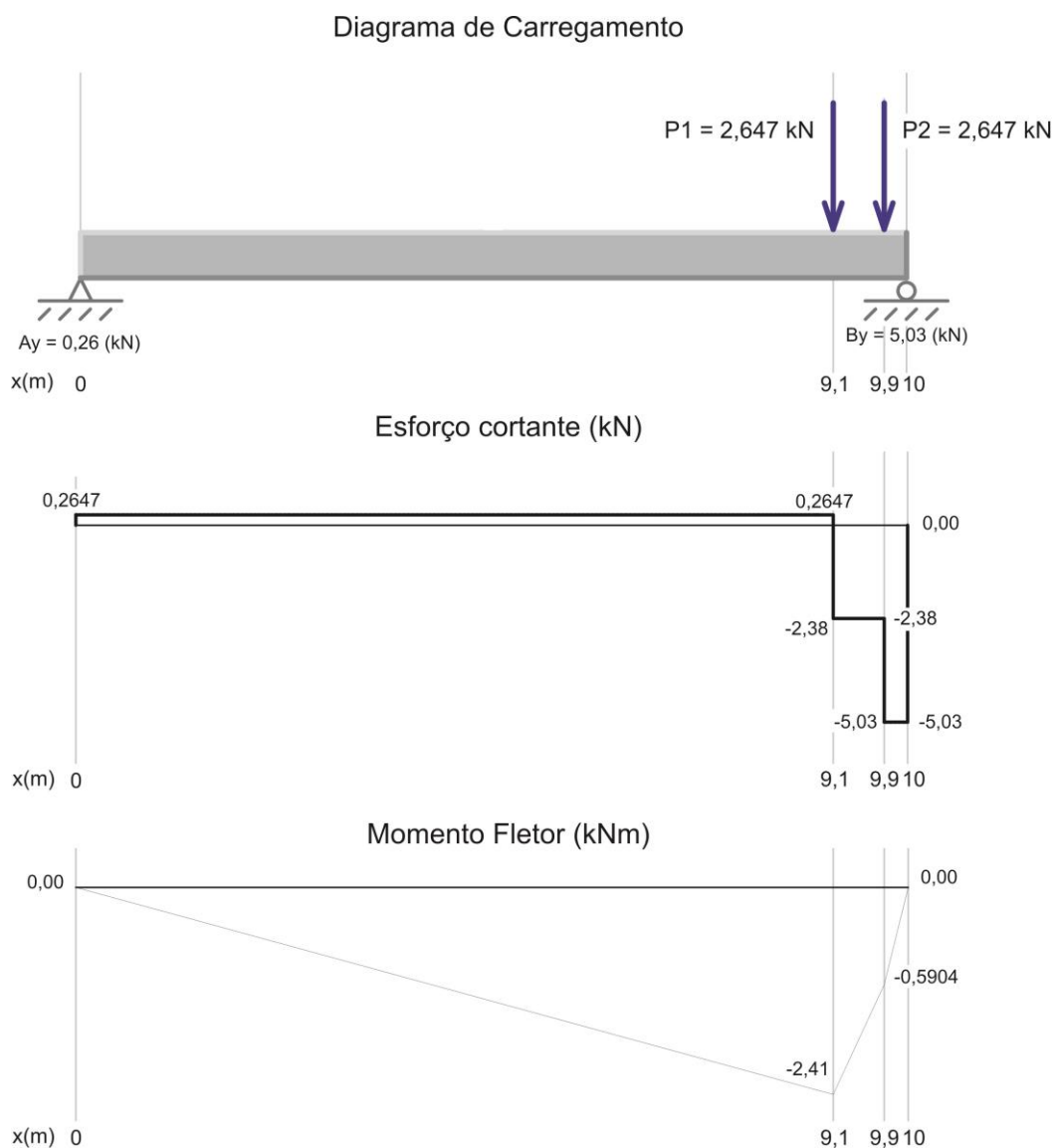
O cálculo da tensão cisalhante é realizado utilizando a razão entre o cortante  $(V) = 2,65$  [kN] no ponto aonde ocorre o momento fletor máximo e as áreas da base do perfil da viga principal  $(A_b) = 7,62 \times 10^{-3}$  [m<sup>2</sup>], utilizando a Equação 4.8, chega-se a  $(\tau_{5m}) = 0,347$  [MPa].

$$\tau = \frac{V}{A} \quad (4.8)$$

Para a segunda análise considera-se o *trolley* em uma das extremidades da viga principal. Como podemos verificar na Figura 23, obtendo um esforço cortante de 5,03 [kN] e um momento fletor máximo de 2,41 [kNm].

Com momento fletor máximo resultante do *trolley* aplicado na extremidade da viga, pode-se calcular com a Equação 4.5, aonde  $(M_{\text{máx}}) = 2,41$  [kNm] e  $(W_y) = 3,811252 \times 10^{-4}$  [m<sup>3</sup>]. Assim a sollicitação devido as reações horizontais transversais geradas pela translação direta é  $(S) = 6,32$  [MPa].

O cálculo da tensão cisalhante é realizado utilizando a razão entre o cortante  $(V) = 5,03$  [kN] no ponto aonde ocorre o momento fletor máximo e as áreas da base do perfil da viga principal  $(A_b) = 7,62 \times 10^{-3}$  [m<sup>2</sup>], utilizando a Equação 4.8, chega-se a  $(\tau_{9,5m}) = 0,66$  [MPa].

Figura 23 - Reações horizontais transversais com *trolley* na extremidade da viga

Fonte: do autor (2018).

#### 4.2.1.4 Verificações contra escoamento

De acordo com item 3.6.1, para verificar as condições de escoamento, deve-se levar em consideração o caso de solicitação a qual o equipamento pertence. Como visto no item 3.44, o Pórtico Rolante em questão corresponde ao caso de solicitação I serviço normal e sem vento.

Conforme a Tabela 10, para a tensão admissível ao escoamento ( $\sigma_a$ ), deve-se considerar a tensão de escoamento dividido por 1,5. Assim, como aço a ser

utilizado é o ASTM A-36, que possui a tensão de escoamento, segundo a CBCO (Centro Brasileiro da Construção em Aço) igual a  $(\sigma_e) = 250$  [MPa], a tensão admissível ao escoamento  $(\sigma_a) = 166,67$  [MPa], e de acordo com a Equação 3.8 a tensão admissível ao cisalhamento  $(\tau_a) = 96,22$  [MPa].

Para realizar a primeira verificação, leva-se em consideração a Equação 3.9. Sendo  $(M_X) = 1$ ,  $(S_G) = 3,06$  [MPa],  $(\psi) = 1,15$ ,  $(S_L) = 63,79$  [MPa],  $(S_H) = 32,06$  [MPa]. Tem-se que  $(\sigma) = 108,47$  [MPa]  $\leq (\sigma_a) = 166,67$  [MPa]. Assim sendo, está de acordo com a Norma.

Para a segunda verificação, deve-se utilizar a Equação 3.10, sendo  $(M_X) = 1$ ,  $(\tau_G) = 0$ ,  $(\psi) = 1,15$ ,  $(\tau_L) = 17,50$  [MPa],  $(\tau_H) = 0$ . Tem-se que  $(\tau) = 20,12$  [MPa]  $\leq (\tau_a) = 96,22$  [MPa]. Logo, está de acordo com a Norma.

E finalmente, para a terceira verificação utiliza-se a Equação 3.11, aonde  $(M_X) = 1$ ,  $(\sigma_x) = 63,79$  [MPa],  $(\sigma_y) = 32,06$  [MPa] e  $(\tau_G) = 17,5$  [MPa]. Tem-se que  $(\sigma_{cp}) = 63,01$  [MPa]  $\leq (\sigma_a) = 166,67$  [MPa]. Portanto, está de acordo com a Norma.

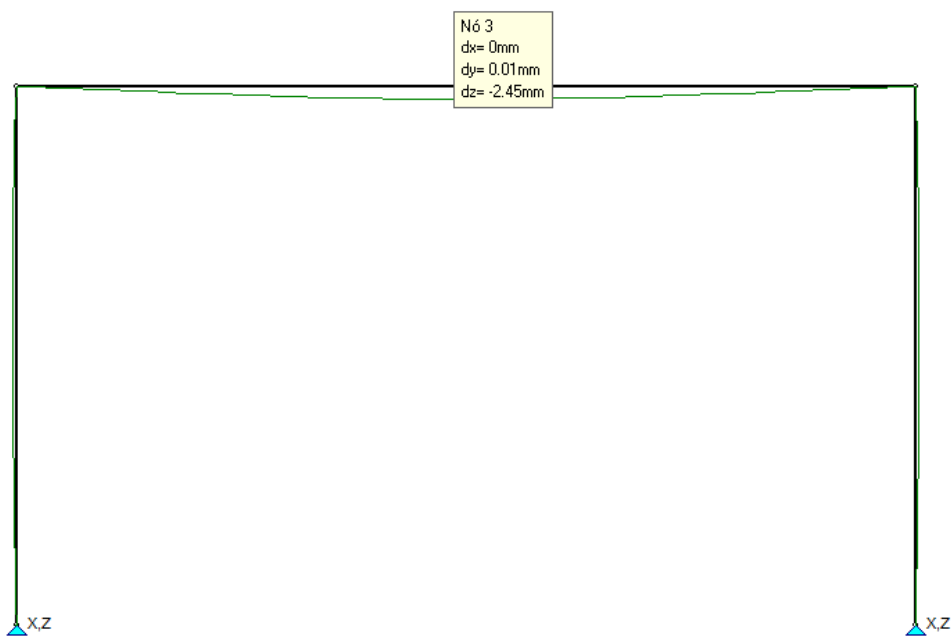
Como é possível verificar, tanto o valor das tensões normais e cisalhantes quanto o valor combinado das tensões atuantes não ultrapassam o valor da tensão admissível para o material, logo, não haverá escoamento.

#### 4.2.1.5 Verificação da deflexão

De acordo com a seção 3.6.2, pode-se considerar para esse carregamento a Equação 3.12, aonde o peso próprio  $(S_G) = 10,17$  [kN] e a carga de serviço  $(S_L) = 105,90$  [kN], resultando em uma carga  $(P1) = 63,12$  [kN].

A deflexão de 2,45 [mm] gerada pela carga no meio do vão da viga principal é inferior aos 5 [mm] definidos pela norma, logo não é necessário fabricar a viga gerando deslocamento no sentido contrário ao do deslocamento originado pela deflexão. Essa deflexão foi calculada com auxílio do *software* mCalc3D, conforme pode ser vista na Figura 24.

Figura 24 - Deflexão na viga principal

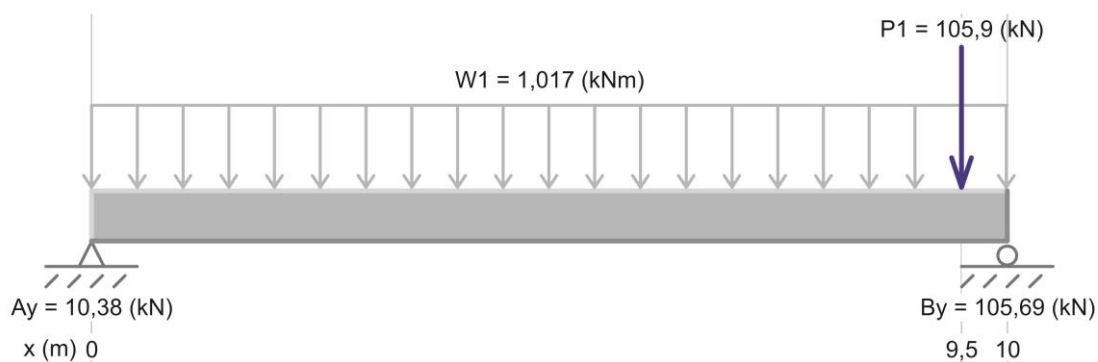


Fonte: do autor (2018).

#### 4.2.2 Pernas

Para a realização do dimensionamento das pernas considerar-se no cálculo as solicitações geradas pelo peso próprio da viga principal somados com a carga de serviço no momento mais desfavorável à estrutura. Para isso leva-se em consideração as reações encontradas na Figura 25.

Figura 25 - Reações geradas pela carga aplicada a 9,5m

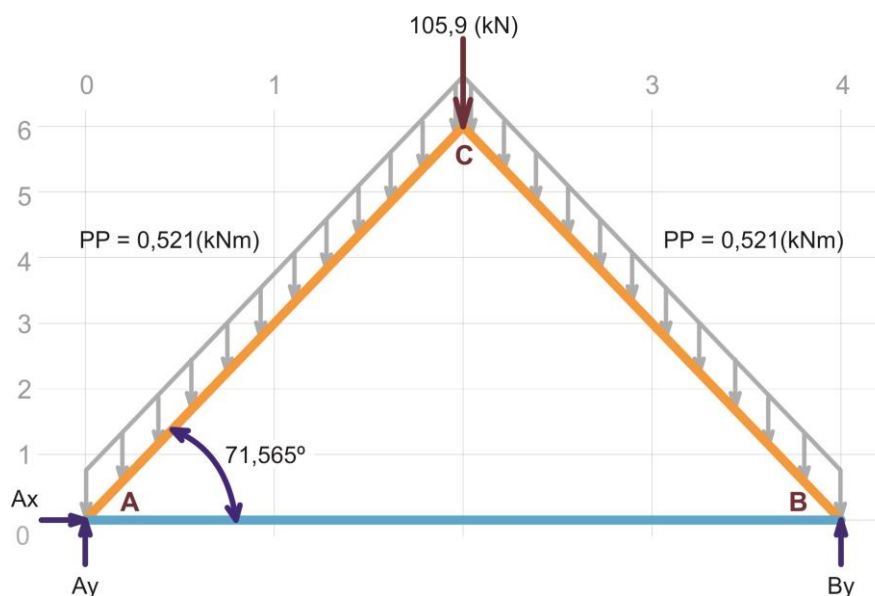


Fonte: do autor (2018).

Pode-se considerar que as pernas e a viga de ligação formam um triângulo, como ilustrado no diagrama de carregamento da Figura 26, facilitando com isso a

distribuição da carga, que é baseada na reação  $By = 105,69$  [kN], também é leva-se em consideração o peso próprio dos perfis que compõem as pernas. Sendo esse peso próprio igual a  $53,15$  [kg/m] que resulta em uma carga distribuída (PP) =  $0,521$  [kNm].

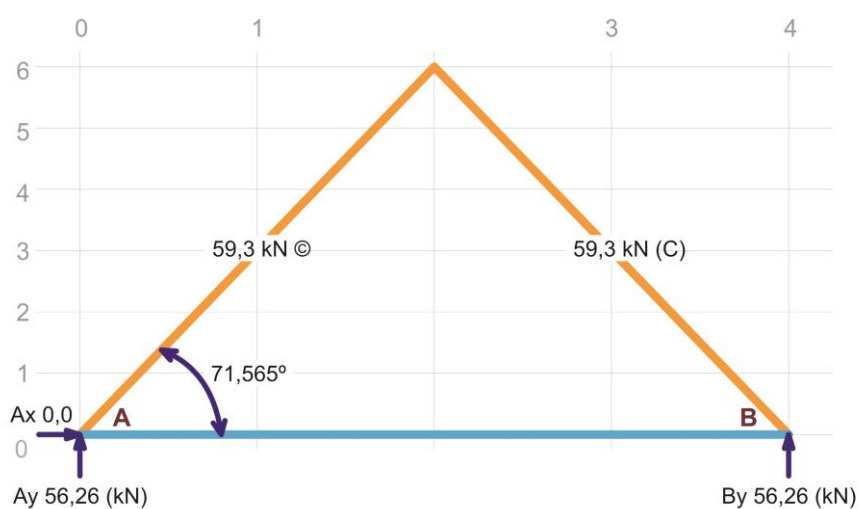
Figura 26 - Distribuição de cargas na pernas



Fonte: do autor (2018).

As cargas demonstradas acima na Figura 26, resultam em um estado de compressão nas pernas igual a  $59,3$  [kN], como pode-se verificar na Figura 27.

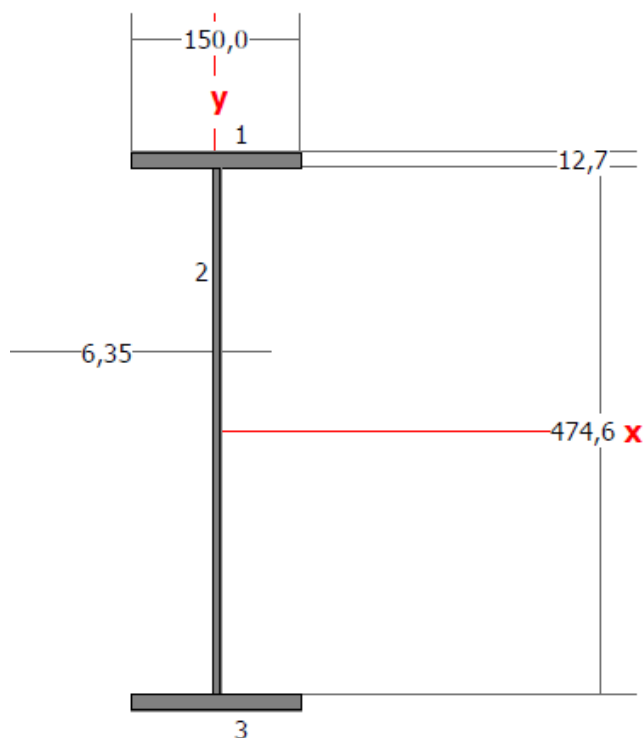
Figura 27 - Resultado da ação das cargas



Fonte: do autor (2018).

Ao definir as dimensões do perfil que será utilizado para as pernas, pode-se encontrar a área referente à seção do mesmo. Para que este fique compatível com o utilizado na viga principal, será utilizado a seção demonstrada na Figura 28.

Figura 28 - Seção do pilar utilizado nas pernas



Fonte: do autor (2018).

Através das dimensões do perfil, é possível determinar os valores dos momentos de inércia, módulos resistentes referentes aos eixos x e y. Essas propriedades foram calculadas com auxílio do *software MDSolids*. Para definir a massa e o peso da viga é considerado que o material possui uma massa específica ( $\rho$ ) = 7850 kg/m<sup>3</sup>. A seguir apresenta-se a Tabela 14, com as propriedades da viga.

Tabela 14 - Dados da seção do perfil das pernas

Dados da seção do perfil das pernas					
Wx	1131206,8	mm <sup>3</sup>	Área Total	6823,7	mm <sup>2</sup>
Wy	95385,02	mm <sup>3</sup>	Massa	337,5	kg
Ix	282801720,9	mm <sup>4</sup>	Peso	3310,78	N
Iy	7153876,7	mm <sup>4</sup>	Massa Esp.	7850	kg/m <sup>3</sup>

Fonte: do autor (2018).

Para verificar se ocorrerá escoamento, deve-se seguir a Equação 4.12. Aonde a tensão encontrada ( $\sigma$ ) deve ser menor que a tensão admissível para o aço ASTM-A36, que possui a tensão admissível ao escoamento ( $\sigma_a$ ) = 166,67 [MPa].

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (4.12)$$

Analisando a Figura 27, observa-se que as forças atuantes nas pernas do Pórtico Rolante, sendo a força de compressão (C) = 59,3 [kN], e a área (A) =  $6,8237 \times 10^{-3}$  [m], utiliza-se a Equação 4.12 para se encontrar a tensão ( $\sigma$ ) = 8,69 [MPa]. Como a mesma está abaixo da tensão admissível ao escoamento ( $\sigma_a$ ) = 166,67 [MPa], não ocorrerá escoamento.

De acordo com a seção 3.6.3, sempre que ocorre flambagem, deve-se verificar se os componentes irão sofrer falha devido a essa solicitação.

Para realizar a verificação deve-se calcular o raio de giração no sentido x e y. De acordo com a Equação 3.15, aonde o momento de inércia no sentido x ( $I_x$ ) = 282801720,9 [mm<sup>4</sup>], o momento de inércia no sentido y ( $I_y$ ) = 7153876,7 [mm<sup>4</sup>] e a área para ambos cálculos a mesma (A) = 6823,7 [mm<sup>2</sup>]. Essas informações são características do perfil e são encontradas na Tabela 14. Assim, ( $r_x$ ) = 203,57 [mm] e ( $r_y$ ) = 32,37 [mm].

Com o raio de giração calculado, pode-se calcular o coeficiente de esbeltez ( $\lambda$ ). De acordo com a Norma, na dúvida em determinar a influência dos engastes existentes nas extremidades da barra, pode-se considerar que sua influência é desconsiderada e admite-se a barra como sendo articulada em suas duas extremidades, nesse caso o valor do comprimento de flambagem é o comprimento real (k=1). Com a Equação 3.14, aonde o comprimento da perna (L) = 6,35 [m], pode-se calcular o coeficiente de esbeltez no sentido x ( $\lambda_x$ ) = 31,19 e no sentido y ( $\lambda_y$ ) = 196,15.

De acordo com o valor encontrado para os coeficientes de esbeltez ( $\lambda$ ), encontra-se na Tabela 11 o valor utilizado para o coeficiente de flambagem ( $\omega_x$ ) = 1,09 e ( $\omega_y$ ) = 6,49, que será multiplicado pela tensão ( $\sigma$ ) = 8,69 [MPa], será

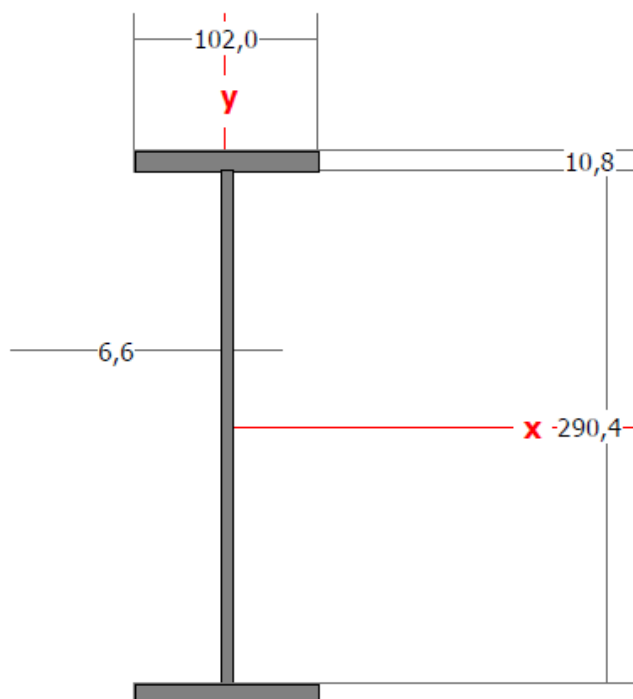
utilizada a Equação 3.13, resultando em uma tensão de flambagem  $(\sigma_{\omega_x}) = 9,47$  [MPa] e  $(\sigma_{\omega_y}) = 56,35$  [MPa], ambas menores que a tensão admissível ao escoamento  $(\sigma_a) = 166,67$  [MPa], logo não ocorrerá flambagem global em nenhum dos sentidos analisados.

#### 4.2.3 Vigas de ligação

As vigas de ligação são responsáveis por realizarem a ligação entre os pilares, neste dimensionamento serão utilizadas as mesmas ponderações utilizadas para o dimensionamento da viga principal.

Com o intuito de agilizar o tempo de produção do sistema de elevação, seleciona-se para as vigas de ligação o perfil comercial W310x32,7 da fabricante GERDAU. O perfil é ilustrado na Figura 29, e tem suas características descritas na Tabela 15.

Figura 29 - Seção do pilar utilizado nas vigas de ligação



Fonte: do autor (2018).



Tabela 15 - Dados da seção do perfil das vigas de ligação

Dados da seção do perfil da viga de ligação					
Wx	416000	mm <sup>3</sup>	Área Total	4180	mm <sup>2</sup>
Wy	37900	mm <sup>3</sup>	Massa	131,25	kg
Ix	64900000	mm <sup>4</sup>	Peso	1287,6	N
Iy	1940000	mm <sup>4</sup>	Área Alma	2059,2	mm <sup>2</sup>

Fonte: GERDAU, adaptado pelo autor (2018).

O perfil é fabricado em aço ASTM A572 GR50, contendo um limite de escoamento ( $\sigma_e$ ) = 345 [MPa]. Considerando a Tabela 10, aonde a tensão admissível ao escoamento é o resultado da tensão de escoamento dividida por 1,5, assim ( $\sigma_a$ ) = 230 [MPa]. Para obter a tensão admissível ao cisalhamento, utiliza-se a Equação 3.8, resultando em ( $\tau_a$ ) = 132,79 [MPa].

#### 4.2.3.1 Solicitações atuantes na estrutura

As solicitações serão calculadas considerando o peso próprio da viga de ligação e a solicitação devido ao peso que está atuando acima das vigas inferiores.

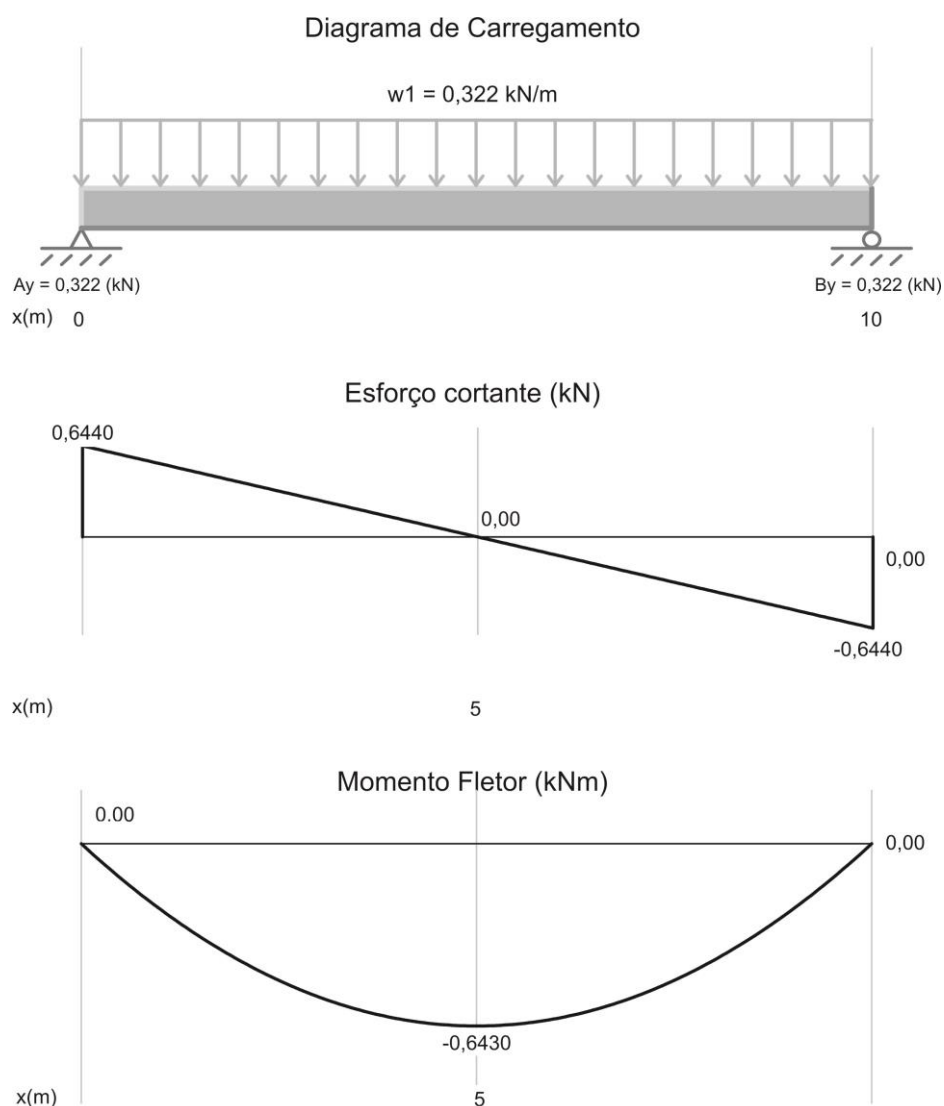
##### 4.2.3.1.1 Solicitações atuantes devido ao peso próprio

Como pode ser visto no item 4.2.1.1.1, as solicitações devido ao peso próprio são definidas por uma carga distribuída. Esse carregamento é calculado utilizando a Equação 4.1. Aonde a área é encontrada na Tabela 15, ( $A$ ) = 0,00418 [m<sup>2</sup>], a massa específica ( $\rho$ ) = 7850 [kg/m<sup>3</sup>] e a gravidade utilizada ( $g$ ) = 9,81 [m/s].

Com a carga ( $w_1$ ) = 0,322 kN/m definida, pode-se encontrar os diagramas de esforço cortante e momento fletor gerados por esta carga, apresentados na Figura 30. Para a realização dos diagramas foram utilizados dois *softwares*, o *mCalc3D* e o *MDSolids*.

A tensão é calculada na Equação 4.2, através do momento fletor máximo ( $M_{\text{máx}} = 0,6430 \text{ [kNm]}$ ) encontrado no diagrama da Figura 30 e do módulo resistente da seção ( $W_x = 4,16 \times 10^{-4} \text{ [m}^3\text{]}$ ), encontrado na Tabela 15. Assim o resultado da tensão devido ao peso próprio é ( $S_G = 1,54 \text{ [MPa]}$ ).

Figura 30 - Diagramas devido ao peso próprio



Fonte: do autor (2018).

#### 4.2.3.1.2 Solicitações atuantes devido ao peso acima da viga de ligação

As cargas situadas acima da viga de ligação não geram um momento fletor, mas geram uma tensão cisalhante, que calcula-se levando em consideração o peso

das estruturas que estão acima da viga, como a viga principal e as pernas, além da carga de serviço, resultando em um esforço aplicado de 119,37 [kN]

- a) Peso viga principal = 10,17 [kN]
- b) Peso pernas = 3,31 [kN]
- c) Peso carga de serviço = 105,89 [kN]

Considerando a Equação 4.4 para calcular a tensão cisalhante, aonde  $V = 119,37$  [kN] e a área da alma do perfil ( $A_A$ ) =  $2,06 \times 10^{-3}$  [m<sup>2</sup>]. Resultando em uma tensão cisalhante ( $\tau$ ) = 57,94 [MPa].

#### 4.2.3.2 Verificação contra o escoamento.

Para esta etapa serão seguidos os passos descritos no item 3.6.1, para verificar se as tensões calculadas para o dimensionamento realizado acima estão abaixo das tensões admissíveis para o material utilizado na fabricação do perfil, estando assim de acordo com a Norma.

Para a primeira verificação, leva-se em consideração a Equação 3.9, em que ( $M_X$ ) = 1, ( $S_G$ ) = 1,54 [MPa]. Assim tem-se que ( $\sigma$ ) = 1,54 [MPa]  $\leq$  ( $\sigma_a$ ) = 230 [MPa]. Assim sendo, está de acordo com a Norma.

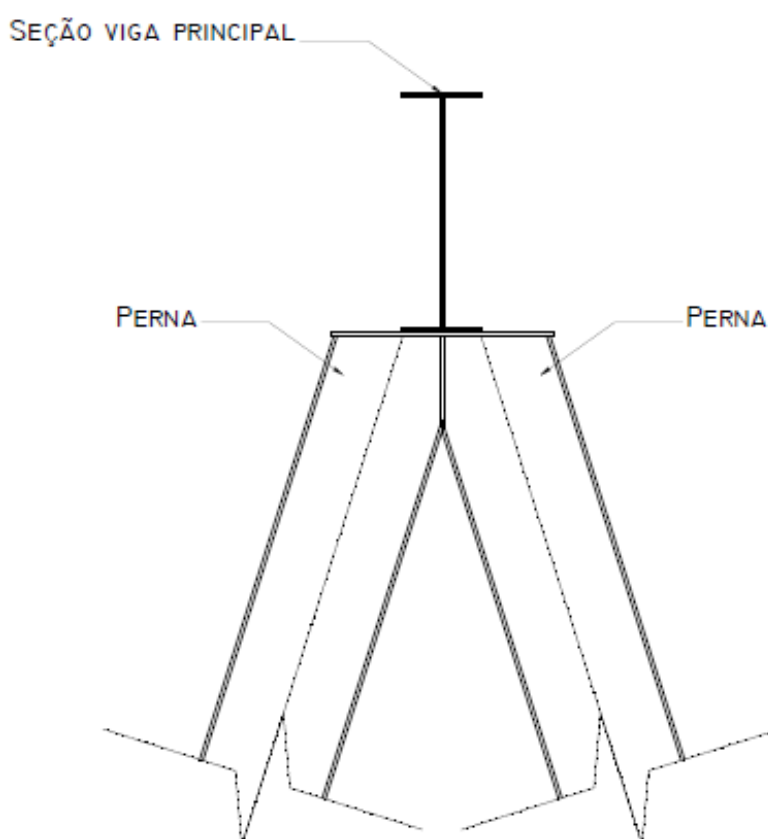
Para a segunda verificação, deve-se utilizar a Equação 3.10, sendo ( $M_X$ ) = 1, ( $\tau_G$ ) = 57,94 [MPa]. Tem-se assim, ( $\tau$ ) = 57,94 [MPa]  $\leq$  ( $\tau_a$ ) = 132,79 [MPa]. Logo, está de acordo com a Norma.

E finalmente, para a terceira verificação utiliza-se a Equação 3.11, aonde ( $M_X$ ) = 1, ( $\sigma_x$ ) = 1,54 [MPa] e ( $\tau_G$ ) = 57,94 [MPa]. Resultando que ( $\sigma_{cp}$ ) = 100,36 [MPa]  $\leq$  ( $\sigma_a$ ) = 230 [MPa], desta forma estando de acordo com a Norma.

#### 4.2.4 Vigas de fechamento

As vigas de fechamento serão desconsideradas nesse dimensionamento, pois devido aos perfis dimensionados para as pernas terem  $(h) = 500$  [mm], os mesmos farão a ligação diretamente com a viga principal, formando o apoio que seria realizado pela viga de fechamento, assim tornando-a dispensável. Essa ligação perna-viga principal ficará de acordo com a Figura 31.

Figura 31 - Ligação entre pernas e viga principal



Fonte: do autor (2018).

#### 4.2.5 Verificações finais

Após a estrutura estar devidamente dimensionada, deve-se realizar algumas verificações com o intuito de assegurar a segurança da mesma. Para isso verifica-se a estrutura devido ao tombamento, e também é realizada a verificação estrutural com o auxílio do *software mCalc3D*.

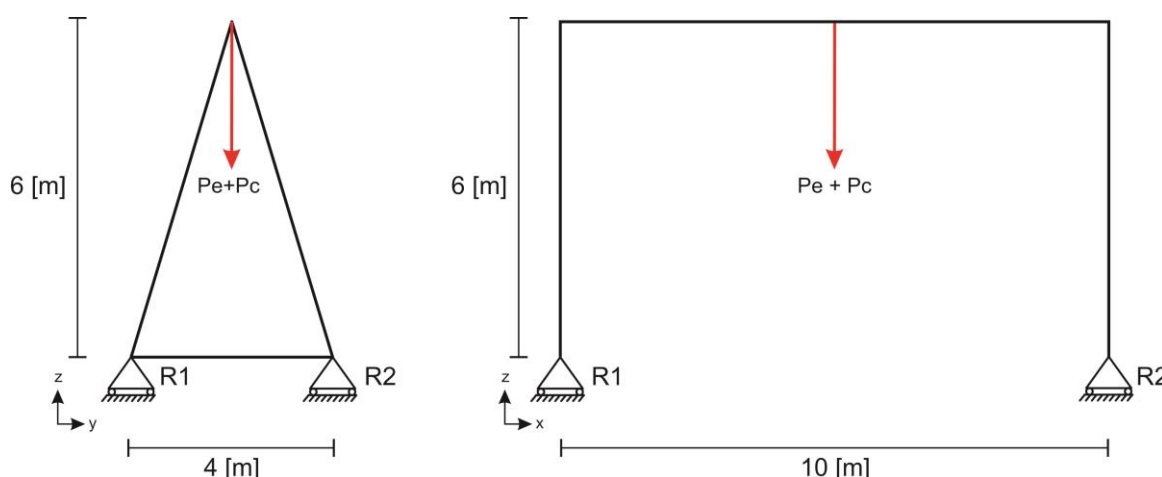
#### 4.2.5.1 Verificação contra o tombamento.

De acordo com o item 3.6.4, o peso da estrutura somado com a carga de serviço é a força que garante estabilidade à estrutura, já a carga é a carga útil somada ao peso do *trolley* geram as forças para que ocorra o tombamento.

Esse fator geralmente se apresenta em Pórticos Rolantes que possuem balanço lateral, assim, quando a carga é aplicada neste balanço, o peso das estruturas devem ser suficientes para garantir que não ocorra o tombamento.

De acordo com a Figura 32, não existem cargas suspensas em balanço que possam vir causar o tombamento do Pórtico Rolante em questão.

Figura 32 - Carregamentos aplicados na estrutura do Pórtico Rolante



Fonte: do autor (2018).

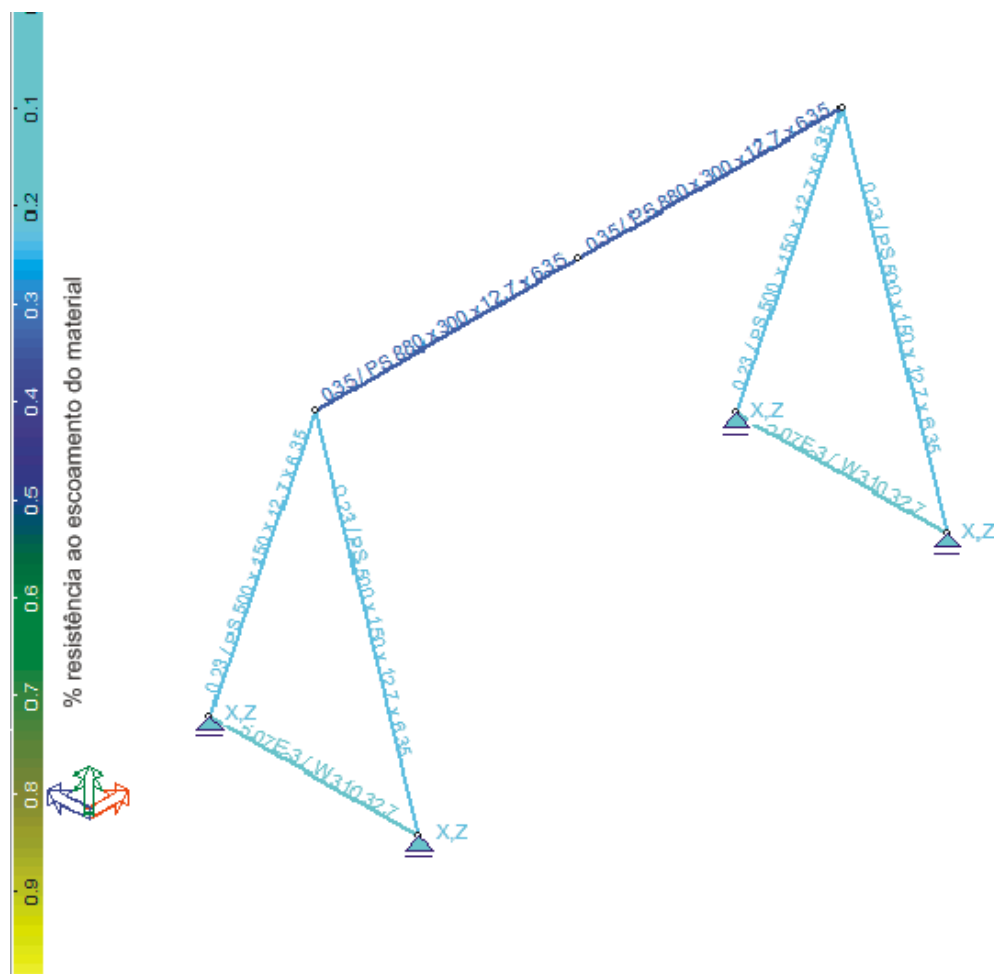
#### 4.2.5.2 Verificação estrutural com auxílio do *software*

Para a validação do dimensionamento dos perfis seleccionados para o Pórtico Rolante, realiza-se o cálculo com o auxílio do *software mCalc3D*, aonde pode-se verificar que a tensão máxima das estruturas não ultrapassa a tensão admissível para o escoamento do material.

No item 4.2.1.1.1, encontra-se a solicitação devido a carga de serviço aplicada no centro da viga ( $S_{L5m}$ ) = 63,79 [MPa]. A tensão admissível ao escoamento do aço é ( $\sigma_a$ ) = 166,67 [MPa], assim verifica-se que a solicitação utiliza

é 38,2% da tensão admissível ao escoamento do material. Na Figura 33, calculada através do *software*, pode-se verificar que a solicitação máxima gerada na viga principal utiliza 35% da tensão admissível ao escoamento do material. Como ambas porcentagens de utilização encontram-se no mesmo patamar, pode-se considerar que o dimensionamento realizado está correto.

Figura 33 - Dimensionamento realizado no mCalc3D

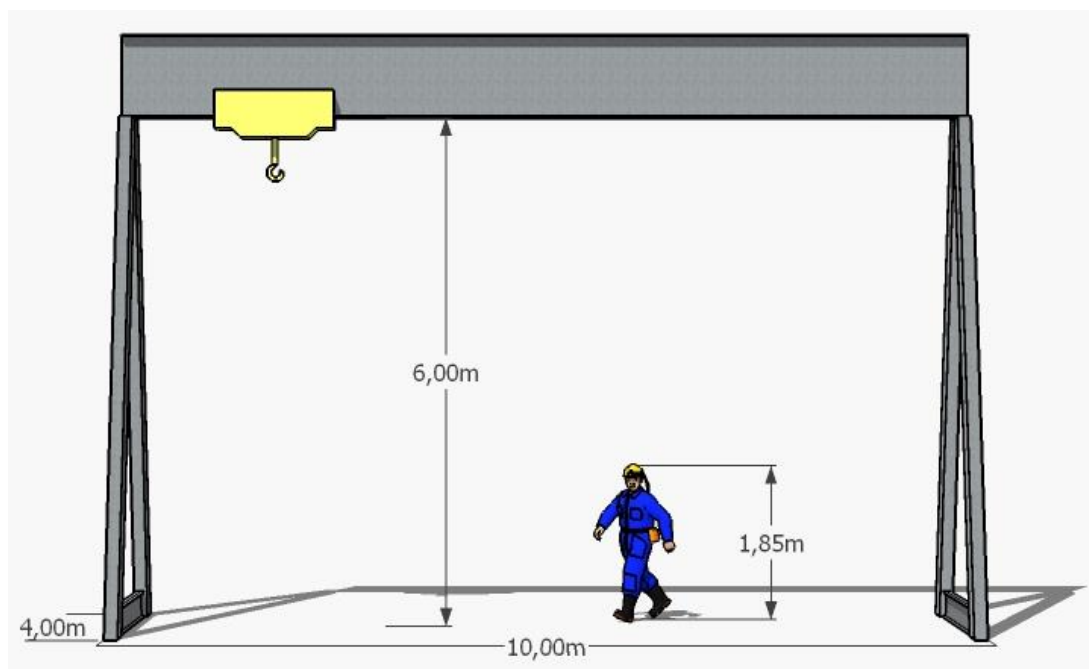


Fonte: do autor (2018).

#### 4.2.6 Representação do Pórtico Rolante

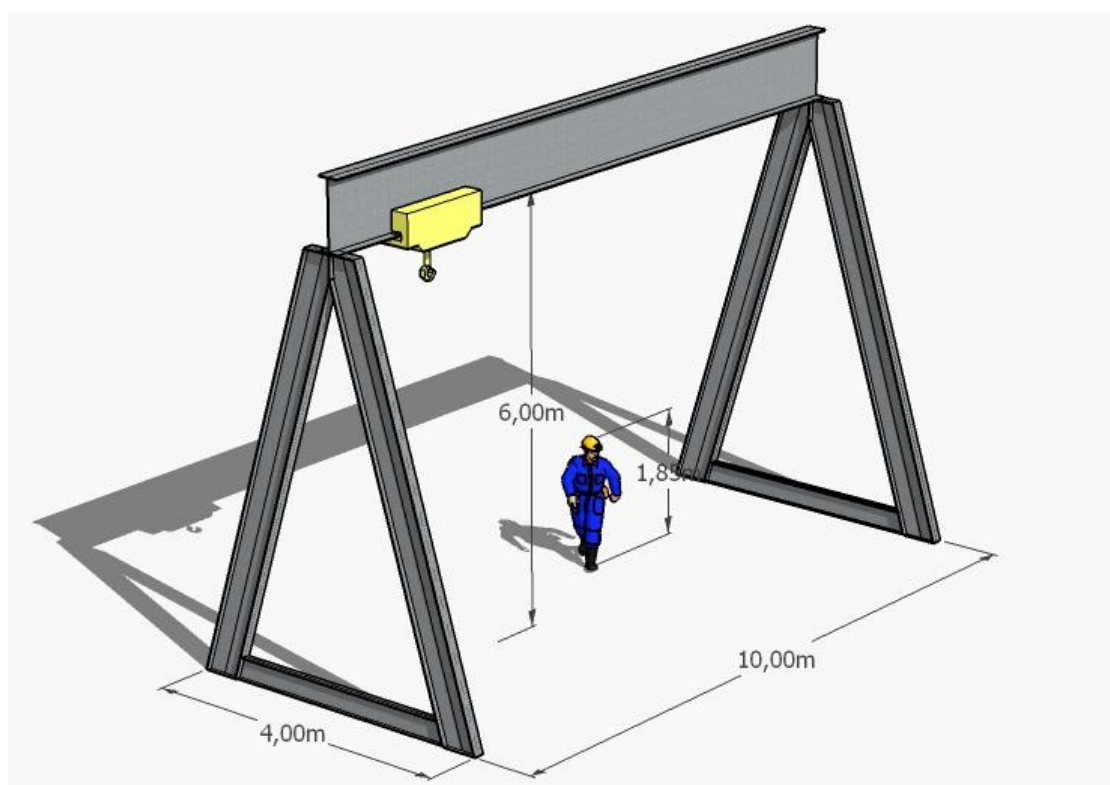
A Figura 33 apresenta uma vista frontal, enquanto a Figura 34 apresenta uma perspectiva da representação do projeto estrutural realizado para o Pórtico Rolante.

Figura 34 - Vista frontal do projeto do Pórtico Rolante



Fonte: do autor (2018).

Figura 35 - Representação do projeto final do Pórtico Rolante



Fonte: do autor (2018).

## 5 CONCLUSÃO

Este projeto teve por objetivo o dimensionamento estrutural de um equipamento de transporte e elevação de cargas, mais especificamente um Pórtico Rolante Univiga.

Durante o projeto foi verificada a possibilidade de ocorrência das seguintes falhas: o escoamento, a necessidade de contraflecha, flambagem localizada, flambagem global, Verificando-se que nenhuma dessas ocorrerá neste projeto. Na análise estrutural realizada através do *software* mCalc3D foi possível encontrar resultados próximos aos encontrados de forma analítica, sendo assim, os resultados encontrados são satisfatórios.

Através do critério de máxima tensão admissível e módulo de resistência estático selecionou-se para a viga principal, o aço ASTM A36, formando um perfil I, soldado, com altura de viga de 880 [mm] e base de 300 [mm], para as pernas, utilizou-se também um perfil I, soldado, com altura de viga de 500 [mm] e base de 150 [mm]. A espessura das chapas utilizadas nas bases é 12,7 [mm] e as chapas utilizadas nas almas das vigas é 6,35 [mm]. Para as vigas inferiores, selecionou-se o perfil comercial da Gerdau W310x32,7, fabricado com o aço ASTM A572 GR50.

Por fim, verificou-se que as tensões não ultrapassam a tensão admissível do material, bem como o deslocamento obtido na viga não é superior ao admissível pela norma NBR 8400 (ABNT, 1984). Garantindo com isso a adequação e conformidade das estruturas dimensionadas.



Este projeto foi baseado nas metodologias descritas na norma NBR 8400 (ABNT, 1984), possibilitando a aplicação de diversos conhecimentos adquiridos ao durante o curso de Engenharia Mecânica, em especial as disciplinas de resistência dos materiais e máquinas de elevação e transporte.

Para trabalhos futuros sugere-se a realização do dimensionamento de todos os componentes utilizados para realizar o içamento das cargas, como os tambores, cabo de aço, motores, etc.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, R. F. S. **Desenvolvimento de uma ferramenta paramétrica em linguagem APDL para o cálculo da estrutura de um pórtico rolante.** 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8400:** Cálculo de equipamento para levantamento e movimentação de cargas. Brasil: ABNT. 1984.

BRASIL, Haroldo Vinagre. **Máquinas de levantamento.** Editora Guanabara S.A. Rio de Janeiro, RJ, 1988.

BUDYNAS, Richard G; NISBETT, J. Keith. **Elementos de máquinas de Shigley:** projeto de engenharia mecânica. Tradução de João Batista de Aguiar, José Manoel de Aguiar. 8 Ed. Porto Alegre: AMGH Editora Ltda. 2011

CBCA Centro Brasileiro da Construção em Aço. Disponível em:  
<<http://www.cbca-acobrasil.org.br/site/construcao-em-aco-acos-estruturais.php>>  
Acesso em: 23 out. 2018

CMCO Columbus McKinnon Corporation. Disponível em:  
<[http://www.cmdobrasil.com.br/talha\\_globalking.html#tres](http://www.cmdobrasil.com.br/talha_globalking.html#tres)> Acesso em: 21 maio 2018

CSM Engenharia de Movimentação. Disponível em:  
<<http://www.csm.ind.br/engenharia/produtos/porticos-Rolantes/>> Acesso em: 05 abr. 2018.

FARIA, Felipe Jorge Pestana de. **Projeto e construção de pórtico rolante para soldadura robotizada.** Dissertação de mestrado em Engenharia Mecânica. Universidade de Aveiro. Aveiro/Portugal, 2015.

GASPARETTO, Mauricio; PEREIRA, Willian. Está em fase final de montagem o maior pórtico guindaste do mundo no Porto de Rio Grande. 2013. **RBS TV.** Disponível em: < <http://g1.globo.com/rs/rio-grande-do-sul/rbs-noticias/videos/v/esta->

em-fase-final-de-montagem-o-maior-portico-guindaste-do-mundo-no-porto-de-rio-grande/2533908/>. Acesso em: 07 mar. 2018.

GERDAU AÇOMINAS. Disponível em: <<http://www.soufer.com.br/arquivos/laminados/1.pdf/>>. Acesso em 23 out. 2018.

Grupo VENTOWAG. Disponível em: <<http://www.ventowag.com.br/>>. Acesso em 05 abr. 2018.

PASSOS, Lucas da Costa dos. **Pontes rolantes, guindastes giratórios e acessórios de movimentação de cargas**. Brasil. 2017.

PINHEIRO, Julio Cesar Cortes. **Projeto e desenvolvimento de uma linha de pontes rolantes padronizadas para uma empresa metal mecânica**. Trabalho de conclusão do curso de Engenharia Mecânica. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul - UNIJUI. Panambi, 2015.

REMOR, Gustavo Strassburger. **Projeto conceitual de um pórtico rolante para movimentação de pallets**. Trabalho de conclusão do curso de Engenharia Mecânica. FAHOR - Faculdade Horizontina. Horizontina, 2012.

RIBEIRO, Fernando José Granja. **Dimensionamento de um pórtico rolante**. Dissertação de mestrado integrado em Engenharia Mecânica. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto/Portugal, 2011.

RUDENKO, N. **Máquinas de elevação e transporte**. Tradução de João Plaza. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, Editora S.A. 1976.

SENA, Lucas de Moura; COSTA, Tiago Silva. **Pórtico dupla viga com duplo balanço**. Trabalho de conclusão do curso de Engenharia Mecânica. UFF - Universidade Federal Fluminense. Niterói, 2015.

SHARMA, Anand; MOODY, Patricia E. **A máquina perfeita: como vencer na nova economia produzindo com menos recursos**. 1ªed. São Paulo: Prentice Hall, 2003.

SILVA, Leonardo Cândido da. **Dimensionamento de equipamento para transporte de cargas: Pórtico dupla viga em balanço**. Trabalho de conclusão do curso de Engenharia Mecânica. UFF - Universidade Federal Fluminense. Niterói, 2016.

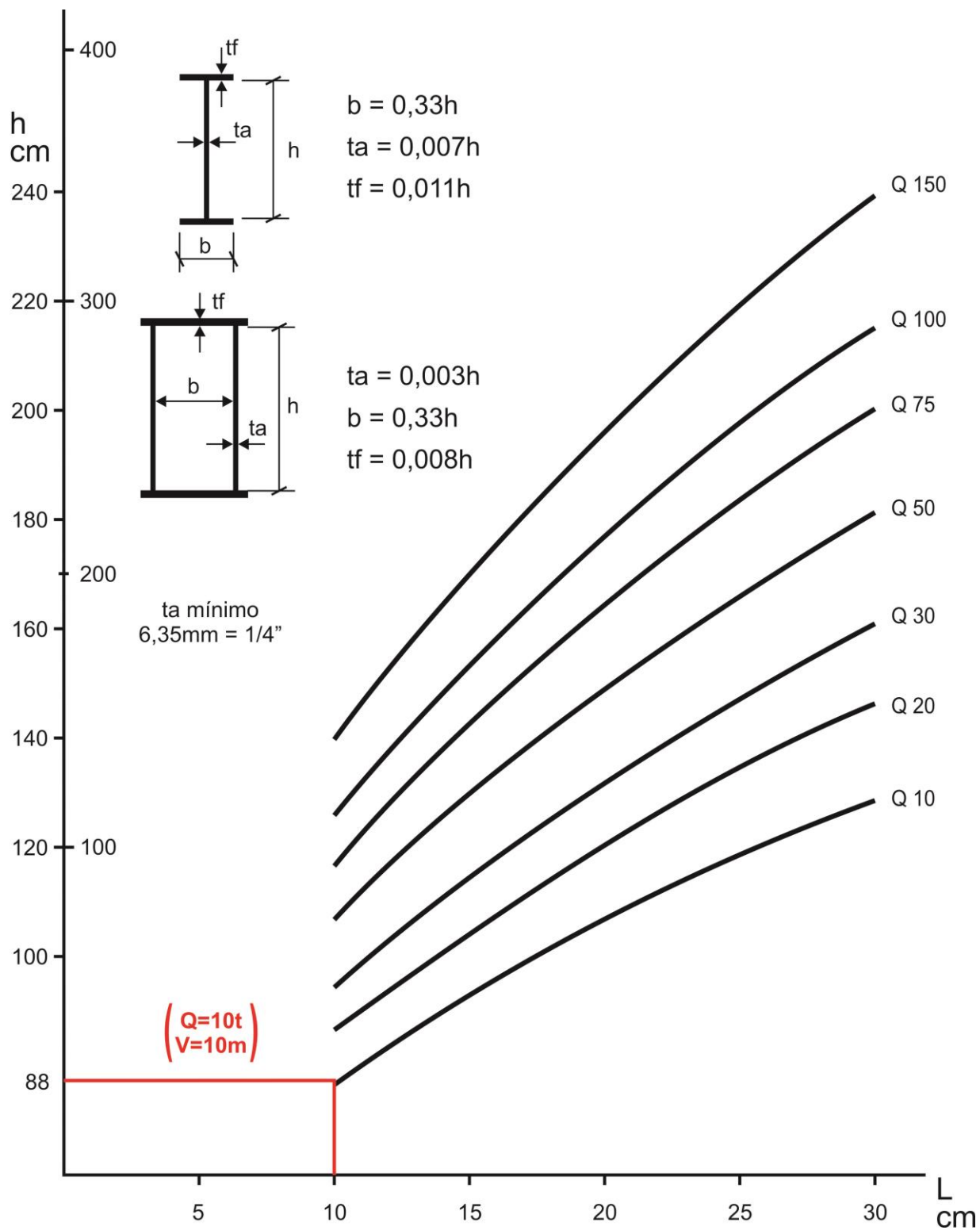
SOBUE, Gustavo. **Modelagem paramétrica de pórticos rolantes: Estabilidade Estrutural e Otimização**. Dissertação de mestrado integrado em Engenharia Mecânica. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Naval e Oceânica. São Paulo, 2005.

SORDI, Giovani. **Dimensionamento da viga principal de uma ponte rolante**. Trabalho de conclusão do curso de Engenharia Mecânica. Centro Universitário Univates. Lajeado, 2016.

TAMASAUSKAS, Artur. **Metodologia do projeto básico de equipamento de manuseio e transporte de cargas - Ponte Rolante – Aplicação não-siderúrgica**. São Paulo, 2000.

## **ANEXOS**

## ANEXO A - Altura de viga de Ponte Rolante.



Fonte: Brasil (1988, p.219), adaptado pelo autor (2018).



**UNIVATES**

R. Avelino Talini, 171 | Bairro Universitário | Lajeado | RS | Brasil  
CEP 95914.014 | Cx. Postal 155 | Fone: (51) 3714.7000  
[www.univates.br](http://www.univates.br) | 0800 7 07 08 09