

INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA

ADERSON PERONDI

DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL DE UM PÓRTICO METÁLICO FIXO PARA  
UMA USINA HIDRELÉTRICA

XANXERÊ

2022

ADERSON PERONDI

DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL DE UM PÓRTICO METÁLICO FIXO PARA  
UMA USINA HIDRELÉTRICA

Monografia apresentada ao curso de Bacharelado em Engenharia Mecânica do Instituto Federal de Santa Catarina campus Xanxerê para a obtenção do diploma de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Me. Carlos Alfredo Gracioli Aita

Xanxerê

2022

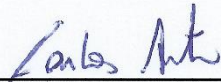
FICHA CATALOGRÁFICA OU FICHA DE IDENTIFICAÇÃO DE OBRA

ADERSON PERONDI

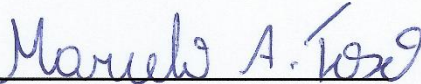
DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL DE UM PÓRTICO METÁLICO FIXO PARA  
UMA USINA HIDRELÉTRICA

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título em Bacharel em Engenharia Mecânica, pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, e aprovado na sua forma final pela comissão avaliadora abaixo indicada.

Xanxerê, 02 de dezembro de 2022



Prof. Me. Carlos Alfredo Gracioli Aita  
Orientador  
Instituto Federal de Santa Catarina



Prof. Dr. Marcelo André Toso  
Instituto Federal de Santa Catarina



Prof. Me. Raphael Brasílio Pires Nonato  
Instituto Federal de Santa Catarina

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus pela minha vida, pela boa saúde e por todas as oportunidades vividas, que me proporcionou esta conquista.

A minha família, em especial aos meus pais Ademir e Salete, sou eternamente grato pelo amor incondicional, educação, apoio e carinho que sempre me deram.

A minha irmã Eloisa pela amizade, companheirismo, atenção e ajuda dedicadas e pelo incentivo de jamais desistir e sempre continuar em frente.

Ao meu orientador Prof. Me. Carlos Aita a parceria, amizade, confiança, e presença de todos os ensinamentos e conhecimentos transmitidos.

Sou extremamente grato ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina pelo acesso à educação superior de qualidade. Agradeço aos técnicos, colegas de faculdade e amigos que ajudaram na execução de atividades do projeto.

A empresa GRUPO UCM pela oportunidade de aplicar meus conhecimentos de forma teórica na prática utilizando uma de suas estruturas e estender meus conhecimentos.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado!

*"Insanidade é continuar fazendo sempre a mesma coisa e esperar resultados diferentes."*

*(Albert Einstein)*

## RESUMO

Atualmente a crescente demanda de energia elétrica, cada vez mais novos pontos para geração de energia são construídos. Com isso também se faz necessário o projeto e dimensionamento dos equipamentos que serão utilizados durante seu funcionamento, equipamentos que possam garantir eficiência, lucratividade e segurança. Pórticos são equipamentos que podem ser utilizados para realizar a movimentação de cargas. São estruturas que quando instaladas permitem a movimentação de cargas em várias direções conforme for a necessidade. O presente trabalho foi proposto para identificar os principais conceitos para a definição e dimensionamento dos perfis estruturais de um pórtico, do tipo metálico fixo, com capacidade de 3 toneladas, à ser utilizado internamente em uma usina hidrelétrica destinado à duas funções: remoção de resíduos por meio de uma máquina limpagrades e durante a operação e movimentação de uma comporta do tipo ensecadeira. A estrutura principal deverá ser formada por perfis estruturais em formato de viga W. De acordo com a norma NBR 8400, após os cálculos, definiu-se que para o pé direito será utilizado uma viga W460 x 52,0, e para a estrutura da viga principal uma viga W410 x 38,8. Durante o dimensionamento estrutural verificou-se que utilizando as vigas descritas acima, as mesmas obtiveram uma solicitação máxima de 76,22 MPa. Comparando-se com a tensão de escoamento do material (345 MPa), obteve-se um coeficiente de segurança de 4,99 garantindo assim a confiabilidade do projeto mecânico do equipamento.

Palavras-chave: Pórtico; Usina; Dimensionamento; Hidrelétrica.

## **ABSTRACT**

Currently the growing demand for electricity, more and more new points for power generation are built. With this, it is also necessary to design and dimension the equipment that will be used during its operation, equipment that can guarantee efficiency, profitability and safety. Gantry are equipment that can be used to move loads. They are structures that, when installed, allow the movement of loads in various directions as needed. The present work was proposed to identify the main concepts for the definition and sizing of the structural profiles of a gantry, of the fixed metallic type, with a capacity of 3 tons, to be used internally in a hydroelectric plant destined to two functions: removal of residues by through a grid-cleaning machine and during the operation and movement of a cofferdam-type gate. The main structure should be formed by structural profiles in the form of a W beam. According to the NBR 8400 standard, after the calculations, it was defined that a W460 x 52.0 beam will be used for the right foot, and for the structure of the main beam a beam W410 x 38.8. During the structural design, it was found that using the beams described above, they obtained a maximum load of 76.22 MPa. Comparing it with the yield stress of the material (345 MPa), a safety coefficient of 4.99 was obtained, thus guaranteeing the reliability of the mechanical design of the equipment.

Keywords: Portico; Power plant; Sizing; Hydroelectric.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Viga perfil W.....	15
Figura 2 – Tipos de comporta.....	18
Figura 3 - Croqui de uma comporta ensecadeira .....	17
Figura 4 - Momento de engate na viga pescadora e acionamento do by-pass .....	18
Figura 5 – Pórticos univiga do estaleiro rio grande .....	19
Figura 6 – Pórticos dupla viga da área de escape na BR-153 .....	20
Figura 7 - Representação dos elementos utilizados.....	22
Figura 8 - Representação de truque.....	31
Figura 9 - Valores de K para diferentes vínculos.....	39
Figura 10 - Diagramas caso I - viga principal .....	45
Figura 11 - Diagramas caso II - viga principal .....	46
Figura 12 - Montagem do pórtico .....	52
Figura 13 - Pórtico finalizado.....	53

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Classificação de equipamentos em grupo .....	25
Tabela 2 - Valores de $\beta_2$ e $\Psi_{\min}$ . .....	26
Tabela 3 - Valores de $V_h$ .....	27
Tabela 4 - Tempos de e valores de aceleração .....	28
Tabela 5 - Coeficiente dinâmico $\Psi_h$ .....	31
Tabela 6 - Coeficiente $\lambda$ .....	32
Tabela 7 - Pressão de vento em operação.....	34
Tabela 8 - Pressão de vento fora de serviço .....	34
Tabela 9 - Valores do coeficiente de amplificação $M_x$ .....	35
Tabela 10 - Coeficiente de segurança em relação ao limite elástico $v_E$ .....	38
Tabela 11 - Esforços e momentos no caso I.....	46
Tabela 12 - Esforços e momentos no caso II.....	47
Tabela 13 - Tensões resultantes no caso I .....	49
Tabela 14 - Tensões resultantes no caso II .....	50
Tabela 15 - Coeficientes de majoração dos elementos .....	50
Tabela 16 - Tensões normais (tração e compressão) nas vigas de ligação 02 e pé direito .....	51

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>13</b>
<b>1.1</b>	<b>Delimitação do tema</b>	<b>15</b>
<b>1.2</b>	<b>Objetivos</b>	<b>15</b>
1.2.1	Objetivo geral	15
1.2.2	Objetivos específicos	16
<b>2.</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b>	<b>17</b>
<b>2.1</b>	<b>Estudo de Caso</b>	<b>17</b>
<b>2.2</b>	<b>Comportas Hidráulicas</b>	<b>17</b>
2.2.1	Comporta Ensecadeira	18
2.2.2	Movimentação	17
<b>2.3</b>	<b>Máquinas Limpa Grades</b>	<b>18</b>
2.3.1	Movimentação	18
<b>2.4</b>	<b>Pórticos</b>	<b>19</b>
<b>2.5</b>	<b>Elementos principais de um pórtico</b>	<b>20</b>
2.5.1	Viga principal	20
2.5.2	Vigas de fechamento	20
2.5.3	Vigas de pé direito	21
2.5.4	Vigas de ligação	21
<b>3.</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>23</b>
<b>3.1</b>	<b>Classificação da pesquisa</b>	<b>23</b>
<b>3.2</b>	<b>Coleta de dados</b>	<b>23</b>
<b>3.3</b>	<b>Ferramentas da coleta de dados</b>	<b>24</b>
<b>3.4</b>	<b>Análise dos dados</b>	<b>24</b>
3.4.1	Classificação da Estrutura	24
3.4.2	Solicitações atuantes sobre a estrutura	25
3.4.2.1	Cargas principais	26
3.4.2.2	Cargas devido ao movimento vertical	26
3.4.2.3	Cargas devido ao movimento horizontal	27
3.4.2.4	Reações transversais devido ao movimento do equipamento	31
3.4.2.5	Efeitos de choque	32
3.4.2.6	Solicitações devido a fatores climáticos	33

3.4.2.7	Cargas diversas.....	34
3.4.3	Casos de solicitação.....	35
3.4.3.1	Caso I – equipamento em operação normal sem vento .....	35
3.4.3.2	Caso II – equipamento em operação com vento limite de serviço.....	36
3.4.3.3	Caso III – equipamento submetido a solicitações excepcionais .....	36
3.4.4	Verificação das estruturas .....	37
3.4.4.1	Elementos submetidos à tração ou compressão simples .....	38
3.4.4.2	Elementos submetidos ao cisalhamento .....	38
3.4.4.3	Elementos submetidos a cargas combinadas .....	38
3.4.4.4	Elementos submetidos a flambagem.....	38
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>40</b>
<b>4.1</b>	<b>COLETA DE DADOS .....</b>	<b>40</b>
<b>4.2</b>	<b>CLASSIFICAÇÃO DA ESTRUTURA .....</b>	<b>40</b>
4.2.1	Solicitações atuantes sobre a estrutura.....	40
4.2.1.1	Cargas devido ao movimento vertical.....	40
4.2.1.2	Cargas devido a movimentos horizontais .....	41
4.2.1.3	Solicitações devido a fatores climáticos .....	41
4.3	CASOS DE SOLICITAÇÃO .....	42
4.3.1	Caso I – equipamento em operação normal sem vento .....	42
4.3.2	Caso II – equipamento em operação com vento limite de serviço.....	43
4.3.3	Caso III – equipamento submetido a solicitações excepcionais .....	43
<b>4.4</b>	<b>VERIFICAÇÃO DAS ESTRUTURAS .....</b>	<b>44</b>
4.4.1	Verificações para os perfis.....	44
<b>4.5</b>	<b>FINALIZAÇÃO DO PÓRTICO.....</b>	<b>52</b>
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>54</b>
<b>5.1</b>	<b>SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>54</b>
<b>6.</b>	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>55</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Com a crescente demanda do consumo de energia elétrica no país, se faz necessário um maior número de pontos geratrizes. Para estes casos precisa-se garantir a máxima eficiência na geração de energia sem que ocorram interrupções que possam prejudicar a lucratividade do empreendimento.

Diante disso, há necessidade de realizar um projeto/dimensionamento com a devida acurácia, para que a segurança na operação dos equipamentos empregados na geração de energia elétrica não seja afetada, assim como os equipamentos auxiliares, que muitas vezes acabam sendo desprezados quando se fala em custo de fabricação do equipamento.

Atualmente, há diversas aplicações para pórticos metálicos, que possibilitam a fabricação de equipamentos extremamente específicos para cada caso, ou que ainda exigem um extremo esforço, o qual deve-se projetar um material ou perfil específico para determinada aplicação. Como posto por Silva (1988), a importância de especificações bem elaboradas para produtos industriais não pode ser subestimada. Uma especificação bem elaborada deve deixar claro o que se espera e o que se aceita do produto.

Nos últimos anos, devido à forte competição industrial, a redução de custos de fabricação propiciou a utilização de elementos estruturais cada vez mais esbeltos, ocasionando valores menores das cargas críticas. (FREITAS, 2010)

O desenvolvimento de metodologias modernas para análise e projeto ótimo de estruturas tem recebido atenção especial devido à crescente escassez dos recursos materiais. OLIVEIRA (2020). Diante disso, deve-se sempre estar atento às atualizações do mercado, tanto em atualização de processos conhecidos, como em novos que vão surgindo dia a dia.

Conforme menciona Mtsubara (2021), “O emprego de perfis de aço formados a frio (PFF) na construção metálica resulta em um processo muito competitivo devido à relação favorável entre resistência e peso próprio.”

Para M.J.Benetti (2017), as empresas de construção mecânica, se preocupando com o mercado de trabalho e atendendo aos pedidos de clientes, necessitam desenvolver em seu dia-a-dia estruturas metálicas independentes, capazes de suportar e operar os equipamentos de seus clientes.

Nas usinas hidrelétricas, a movimentação de comportas hidráulicas é uma das

necessidades básicas na área de manutenção e requer atenção especial durante o seu projeto. Destaca-se que as comportas hidráulicas são importantes para a proteção e operação dos canais e barragens, pois em muitos casos estes dispositivos estão preservando a vida dos operadores de manutenção.

Conforme explica Arakawa et al. (2013), pode-se separar as comportas que constituem uma usina em três grandes grupos, sendo: comporta segmento, comporta de emergência (vagão) e comporta ensecadeira (*stoplogs*).

As comportas Ensecadeiras são utilizadas para efetuar a manutenção e o reparo a seco dos equipamentos ou comportas principais de uma Usina Hidrelétrica, tais como: a montante de comportas de tomadas d'água e vertedouro, a jusante da turbina ou das comportas de emergência do tubo de sucção (ARAKAWUA et al. 2013).

Para a operação e movimentação deste tipo de comporta comumente utiliza-se de estruturas metálicas denominadas pórticos. Tanto para movimentação em pleno uso da comporta como para acomodá-la em seu lugar de estocagem.

Conforme comenta Sordi (2016), para a movimentação de carga existe uma grande variedade de equipamentos, dependendo do tipo de indústria, utilizam-se empilhadeiras móveis, correias transportadoras, pontes rolantes, pórticos rolantes, transportadores pneumáticos, talhas, guindastes móveis entre outros.

Passos (2011) expõe que, os tipos variam em função dos fabricantes e são inúmeras as opções oferecidas. Suas capacidades podem variar de 0.5 à 300 toneladas, podendo ser montados em pequenos vãos, de aproximadamente 6m, até em grandes vãos que chegam a considerados 30m.

Desta forma a função de realizar o dimensionamento e projeto de tais estruturas cabe ao setor de engenharia das empresas.

Para aplicação desse processo de dimensionamento, muito estudo se faz necessário para compreender todas as solicitações que atuam sobre uma estrutura e aplicá-las corretamente no decorrer dos cálculos, além de influências externas que podem interferir durante a utilização do equipamento. É dentro desse contexto que situa-se este trabalho, que busca realizar o dimensionamento e apontamento dos perfis à serem utilizados para a construção de um pórtico.

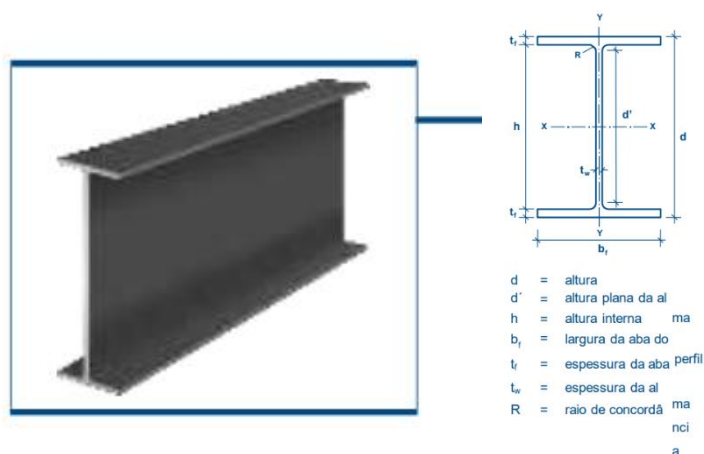
## 1.1 Delimitação do tema

O presente estudo de caso foi proposto para identificar os principais conceitos durante a definição e dimensionamento dos perfis estruturais de projeto aplicado à um pórtico, do tipo metálico fixo. Pórtico este que tem sua utilização em duas funções já definidas. Remoção de resíduos (orgânicos, galhos, folhas, lixo, entre outros), acumulados nas grades de tomada d'água por meio de uma máquina limpa-grades e durante a operação e movimentação de uma comporta do tipo ensecadeira.

O dimensionamento e projeto dos demais componentes como talha, máquina limpa grades, motores e demais componentes não serão desenvolvidos nesta análise, logo, serão abordados apenas os itens que influenciam diretamente no dimensionamento dos perfis para a estrutura do pórtico em análise.

A estrutura principal deverá ser formada por perfis estruturais em formato de viga W Figura 1. Sendo os principais componentes denominados de pé direito e viga de rolamento, sendo os mesmos que recebem diretamente os esforços exigidos durante a operação dos equipamentos neles dispostos.

Figura 1 - Viga perfil W



Fonte: Catálogo de Perfis Estruturais GERDAU

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 Objetivo geral

Dimensionar e indicar os perfis estruturais que serão utilizados para a fabricação de um pórtico metálico fixo, durante a movimentação de uma comporta

hidráulica do tipo ensecadeira, e na operação de uma máquina limpa grades na tomada de água de uma usina hidrelétrica.

### 1.2.2 Objetivos específicos

Neste trabalho aponta-se os objetivos específicos a seguir:

- a) Classificar os sistemas de elevação e transporte;
- b) Utilizar os conceitos apontados pela norma ABNT 8400 (ABNT, 2019) para realizar o correto dimensionamento do pórtico fixo de acordo com a sua devida classe.
- c) Indicar o perfil estrutural a ser utilizado para uma possível fabricação do mesmo.



## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Estudo de Caso

As normas modernas para análise, dimensionamento e projeto de pórticos fixos mostram em seus textos diferentes métodos para executar tais tarefas. Neste trabalho serão apresentadas as recomendações da NBR 8400, a qual versa sobre Equipamentos de Elevação e Movimentação de Carga, e da ABNT14428 – Sinalização Vertical Viária – Pórticos e semipórticos zincados – projeto montagem e manutenção.

A ABNT NBR 8400 foi elaborada no Comitê Brasileiro de Máquinas e Equipamentos Mecânicos (ABNT/CB-004), pela Comissão de Estudos e Equipamentos de Elevação de Carga (CE-004:01.0001). É baseada na FEM1001 (10.1998), *section I – Heavy lifting appliances – Rules for design of hoisting appliances da Fédération Européenne de la Manutention (FEM)*.

Para Lorenzi (2018) as normas técnicas são as principais fontes de informações, onde se busca informações importantes no momento de realizar um estudo de cálculo e projeto em tais equipamentos.

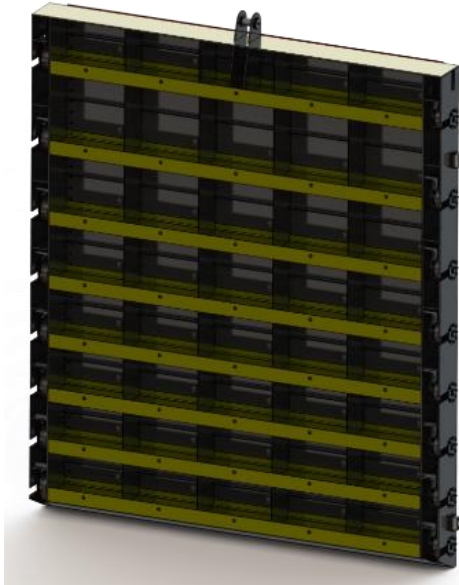
### 2.2 Comportas Hidráulicas

Para a NBR 7259 (ABNT, 2001), as comportas hidráulicas são classificadas em 16 tipos, listados a seguir:

- |                         |                        |
|-------------------------|------------------------|
| - Comporta Gaveta;      | - Comporta Basculante; |
| - Comporta Ensecadeira; | - Comporta Rolante;    |
| - Comporta-vagão;       | - Comporta Cilíndrica; |
| - Comporta-lagarta;     | - Comporta-mitra;      |
| - Comporta Stoney;      | - Comporta-telhado;    |
| - Comporta-segmento;    | - Comporta-visor;      |
| - Comporta-setor;       | - Comporta Mista;      |
| - Comporta-tambor;      | - Comporta Múltipla;   |

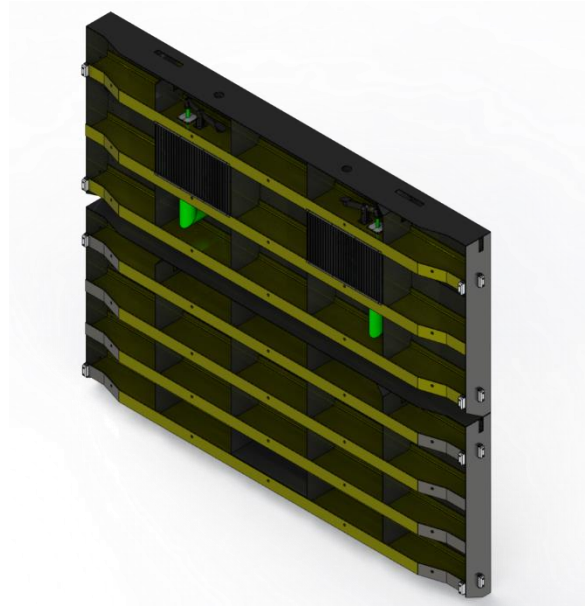
Dentre todos estes equipamentos listados, Erbiste (2002), cita que o tipo de comporta hidráulica mais comumente utilizada e encontrada em usinas hidrelétricas certamente é comporta do tipo vagão Figura 2a, e comporta tipo ensecadeira Figura 2b.

Figura 2 – Tipos de comporta



a) Comporta tipo vagão

Fonte: do autor (2022)

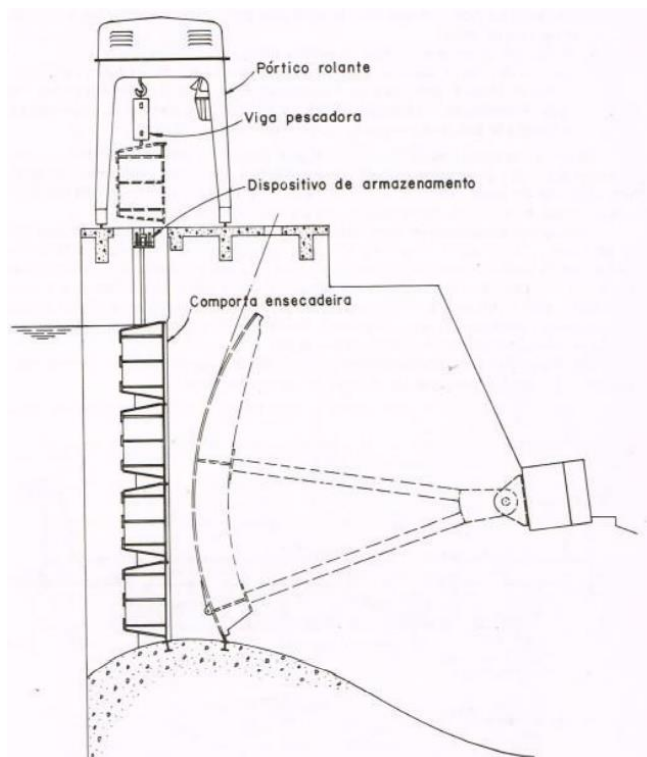


b) Comporta tipo ensecadeira

### 2.2.1 Comporta Ensecadeira

Conforme a NBR 7259 (ABNT, 2001), uma comporta ensecadeira é uma comporta de deslizamento, com paramento geralmente plano e vertical, que só pode ser movimentada em suas guias ou peças fixas com pressões hidráulicas equilibradas. Esta comporta também é conhecida pelo nome de *stoplog* e pode ser formada por elementos independentes superpostos, sendo, neste caso, cada elemento chamado de painel de comporta ensecadeira. Geralmente a comporta ensecadeira é usada para permitir o reparo, a manutenção ou a troca de outros equipamentos. Na figura 3 mostra-se uma comporta ensecadeira.

Figura 3 - Croqui de uma comporta ensecadeira



Fonte: Erbiste (2002)

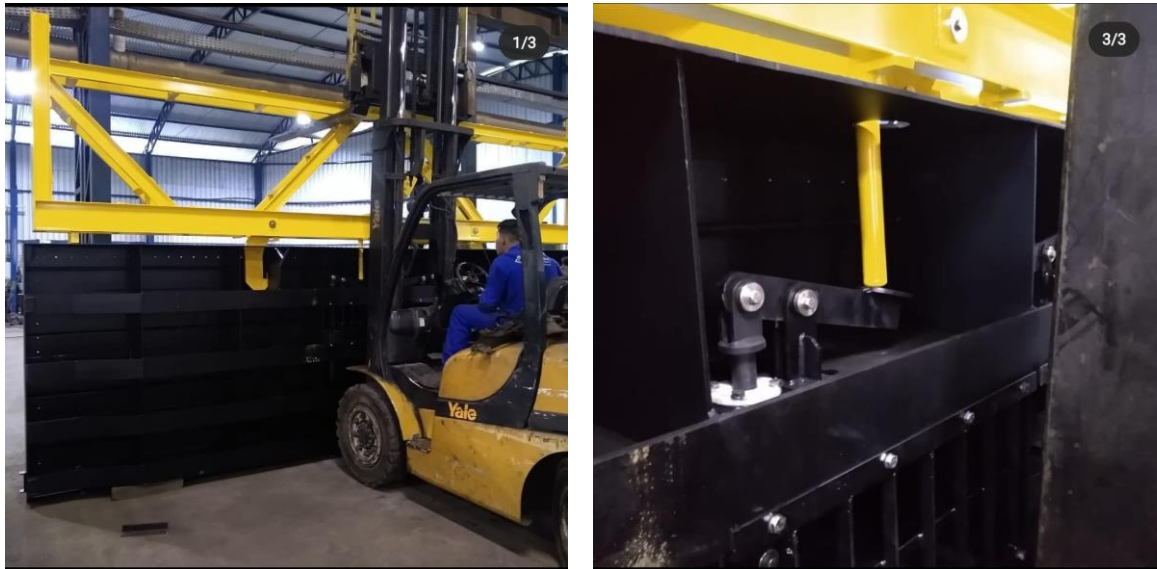
Erbiste (2002) explica ainda que uma comporta ensecadeira é de construção simples, não possui rodas ou rolos para sua movimentação. Dependendo da altura a vedar pode ser composta de mais de um elemento. Erbiste (2002) expõe que pelo fato de não haver rodas ou rolos, a movimentação deste tipo de comporta deverá exclusivamente ser em um momento que não há fluxo de água.

### 2.2.2 Movimentação

Conforme expõe Bastos (2018), a movimentação da comporta ensecadeira é feita pela translação individual de cada painel por meio do acionamento da viga pescadora, que possui ganchos de içamento que servem para o acoplamento nos olhais dos painéis, bem como para acionar as válvulas by-pass do elemento superior Figura 4. A comporta ensecadeira ou comporta stoplog tem seu acionamento geralmente dado a partir de talhas, guindastes e pórticos rolantes. De maneira geral é usada para a manutenção de outros equipamentos do conjunto hidromecânico. Seu paramento é plano e vertical. Sua movimentação só pode ocorrer com as pressões

hidráulicas equilibradas e dentro de suas guias (SOUZA; SANTOS; BORTONI 2009).

Figura 4 - Momento de engate na viga pescadora e acionamento do by-pass



Fonte: do Autor (2022)

## 2.3 Máquinas Limpa Grades

SAUR (Associação, 2022), descreve que, a máquina limpa grades tem a função de remover resíduos de lixo orgânico e lixo urbano que venham a obstruir a grade de proteção por onde passa o fluxo d'água do duto condutor das turbinas de geração de eletricidade. Com a utilização da Máquina Limpa Grades, essa limpeza pode ser programada e não exige a parada total ou parcial da geração de energia, aumentando assim a eficiência da hidrelétrica e contribuindo para a limpeza e preservação de rios e represas. Também reduz as limpezas manuais que exigem uma equipe específica dedicada somente à essa função.

Segundo explica Sodebras (2010), a implantação de máquina limpa grades em tomadas d'água em centrais hidroelétrica aumenta a disponibilidade de unidades geradoras com a diminuição de paradas para limpezas das grades devido ao acúmulo de detritos capazes de aumentar a obstrução dos painéis das grades.

### 2.3.1 Movimentação

Um dos métodos para implantação de máquinas limpa grades em tomadas d'água em centrais existentes é a utilização das estruturas dos equipamentos de

movimentação existentes neste local, a exemplo dos pórticos rolantes utilizados para a movimentação das comportas de operação e manutenção, e dos painéis das grades, (Sodebras, 2010).

## 2.4 Pórticos

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

Para Passos (2011), pórticos e semipórticos são equipamentos de uma ou duas vigas elevadas e autossustentáveis sobre trilhos. Possuem um sistema de elevação semelhante ao das pontes rolantes, cujo comando é realizado à partir do piso de operação por meio de cabines ou botoeiras.

Conforme exemplifica Remor (2012), os pórticos por serem muitas vezes fabricados para uma ocasião específica, podem ser de vários tipos e formatos. Um pórtico univiga é fabricado com uma única viga principal, podendo esta ser de vários tamanhos e modelos. Entre os mais utilizados estão a viga caixão e vigas comercial tipo W, como mostra a figura 5.

Figura 5 – Pórticos univiga do estaleiro rio grande



Fonte: Ecovix 2022 (<http://www.ecovix.com/realizacoes/rg-estaleiro-novo-portico-de-2000t/>)

Ainda Remor (2012), explica que um pórtico rolante de dupla-viga diferencia-se dos univigas, unicamente por ser composto por duas vigas principais, o que possibilita para esse tipo de pórtico uma capacidade de elevação de carga maior que o univiga. Geralmente são utilizados onde são exigidas cargas acima de 20 ton.

Figura 6 – Pórticos dupla viga da área de escape na BR-153



Fonte: CSM 2022 (<https://csmmovimentacao.com.br/cases/porticos-rolantes-industriais-em-area-de-escape/>)

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.

## 2.5 Elementos principais de um pórtico

### 2.5.1 Viga principal

Para Sordi (2016), a estrutura principal é onde se realiza o movimento de translação do carro, percorrendo todo o vão de trabalho. A viga é a estrutura onde se concentra a maior solicitação de carga, pois é nela que o carro trolley está fixado.

Segundo Ribeiro (2011), dependendo do nível de cargas a movimentar, serão construídos por perfis comerciais laminados ou de chapas soldadas formando uma caixa.

Os elementos utilizados como viga principal podem ser observados na figura 7.

### 2.5.2 Vigas de fechamento

No trabalho de Soube (2005), o próprio explica que as vigas de fechamento,

juntamente com as vigas principais, determinam um quadro na parte superior do pórtico, e tem por objetivo proporcionar uma maior rigidez quanto da torção da estrutura do pórtico.

Elementos utilizados como viga de fechamento estão destacados na figura 7.

### 2.5.3 Vigas de pé direito

Para Cargnin (2022), as pernas do pórtico ou estrutura de sustentação correspondem à estrutura de sustentação que apoia a viga principal e todos os mecanismos, dispositivos e acessórios instalados nela.

Soube (2005) expõe que as vigas principais, solicitadas por flexão, transmitem o momento fletor para as pernas, portanto, o dimensionamento destas vigas deve considerar também a flexão além da compressão axial.

É através desta estrutura que se determina a altura final apresentada pelo pórtico e se garante resistência e estabilidade aos carregamentos recebidas pela viga principal, (Cargnin, 2022).

Elementos utilizados como viga de pé direito estão identificados na figura 7.

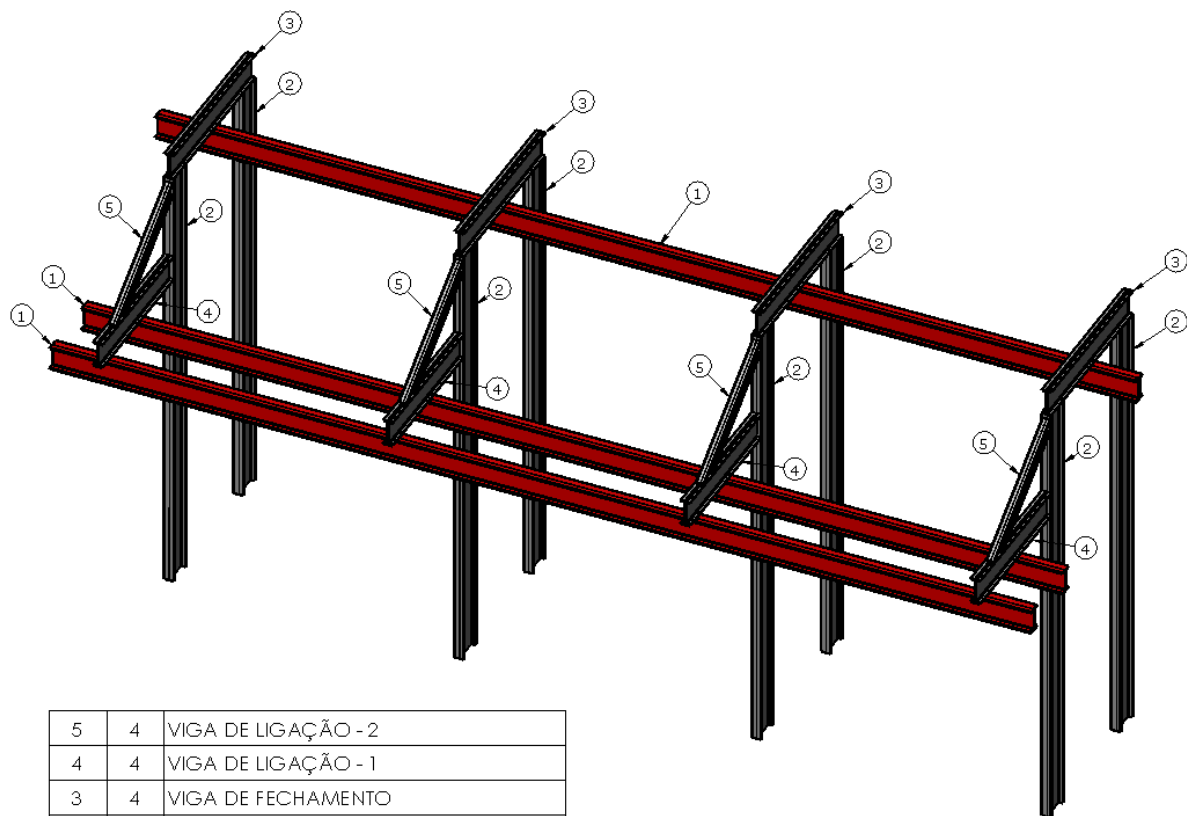
### 2.5.4 Vigas de ligação

As vigas de ligação, representadas na figura 10, têm a função de travamento e suporte das vigas principais auxiliares, localizadas na extremidade superior do pórtico.

Como explica Cargnin (2022), tal princípio construtivo e geométrico contribui para a redução das chances de flambagem e torção, pois os perfis da estrutura de sustentação trabalham em conjunto e não de forma individual, aumentando consideravelmente o momento de inércia da estrutura.

A figura 7 está representando como ficarão dispostas as vigas e seus respectivos nomes para identificação.

Figura 7 - Representação dos elementos utilizados



5	4	VIGA DE LIGAÇÃO - 2
4	4	VIGA DE LIGAÇÃO - 1
3	4	VIGA DE FECHAMENTO
2	8	VIGA DE PÉ DIREITO
1	3	VIGA PRINCIPAL DE IÇAMENTO
POS.	QT.	DESCRIÇÃO

Fonte: do Autor (2022)



### **3. METODOLOGIA**

#### **3.1 Classificação da pesquisa**

Existem vários modelos de pesquisa que podem ser seguidos. Segundo Silva e Menezes (2001), do ponto de vista da natureza da pesquisa se pode classificá-los em dois: pesquisa básica e pesquisa aplicada.

O presente trabalho será direcionado a ser uma pesquisa aplicada, visto que os dados a serem utilizados em sua elaboração serão dirigidos à uma única estrutura específica.

O presente trabalho baseia-se em números, valores e medidas reais. Tendo isto em vista, do ponto de vista de abordagem trata-se de um problema de forma quantitativa.

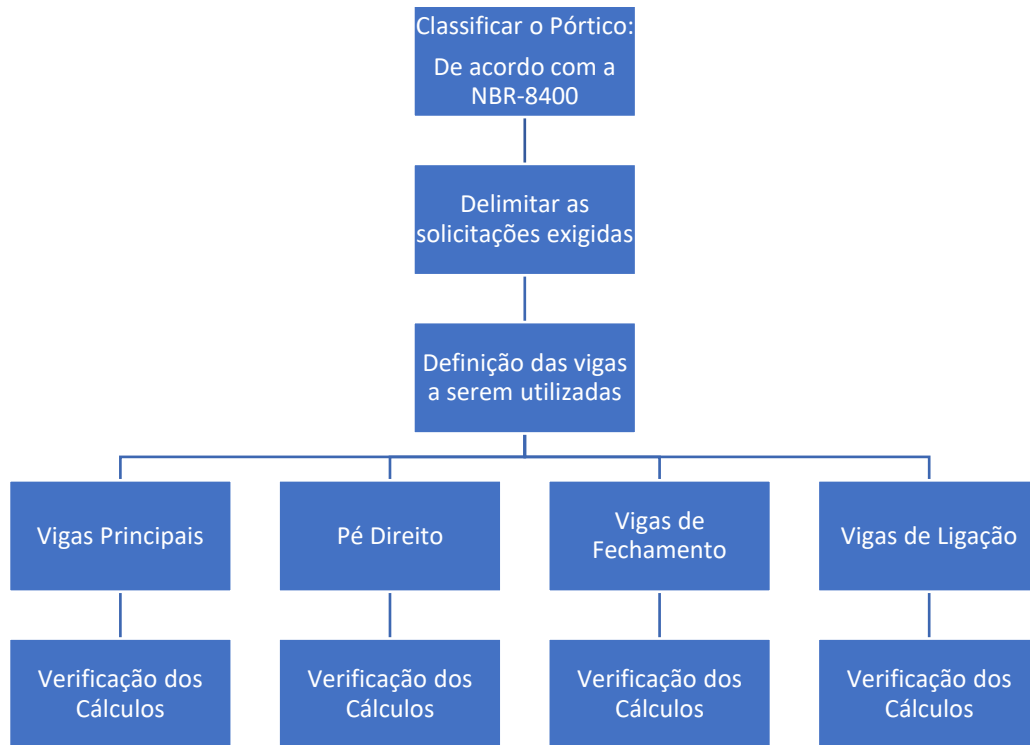
Gil (1991) comenta ainda que, a pesquisa do ponto de vista dos procedimentos técnicos pode ser classificada em bibliográfica, documental, experimental, levantamento, estudo de caso, pesquisa Expost-Facto, Pesquisa-Ação e pesquisa participante.

#### **3.2 Coleta de dados**

Por ser um pórtico de aplicação específica, delimitado ao uso de uma hidrelétrica, é preciso observar alguns dados e informações que serão coletados no local onde o pórtico será instalado e algumas características que levam em conta o seu uso. Sendo as principais:

- a) Carga nominal;
- b) Altura de elevação;
- c) Vão livre;
- d) Ciclos de pé direito;
- e) Aplicações;
- f) Velocidade de movimentação;

Quadro 1– Fluxograma para execução do trabalho



Fonte: O autor (2022).

### 3.3 Ferramentas da coleta de dados

Os dados iniciais necessários para o desenvolvimento do trabalho serão obtidos com o proprietário do empreendimento e com as documentações fornecidas pelo mesmo, do lugar de utilização e instalação do pórtico. As normas técnicas irão orientar os pontos a serem analisados durante o processo de dimensionamento.

### 3.4 Análise dos dados

Toda fundamentação da análise dos dados será baseada tomando por referência as preposições feitas de acordo com a norma brasileira NBR 8400 (ABNT, 2018).

#### 3.4.1 Classificação da Estrutura

De acordo com a NBR 8400-1 (ABNT, 2019), os elementos de elevação são classificados em 15 grandes grupos, como pode ser observado na Tabela 01, que determinam os fatores dos coeficientes de majoração durante o procedimento de dimensionamento de estruturas.

Tabela 1- Classificação de equipamentos em grupo

Referência	Tipo de equipamento Indicação	Detalhes relacionados à natureza do uso	Grupo do equipamento	Classe da elevação
1	Equipamentos operados manualmente	-	A1-A2	HC1
2	Equipamentos de montagem e desmontagem	-	A1 - A2	HC1/HC2
3	Equipamentos para casa de força	-	A2-A4	HC1
4	Equipamentos para oficina em geral Equipamentos industriais em geral	Gancho	A3-A5	HC2/HC3
5	Equipamentos para carregamento de fundição	Garra ou eletroímã	A6-A8	HC3/HC4
6	Equipamentos para manuseio de panela de metal líquido	-	A6-A8	HC2/HC3
7	Ponte rolante estripadora	-	AB	HC3/HC4
8	Equipamentos para decapagem Equipamentos para carregamento de forno elétrico	-	AS	HC4
9	Equipamentos para forjaria	-	A6 - A8	HC4
10	Equipamentos para contêineres (pontes e pórticos rolantes)	Gancho ou "spreader" (barra de carga)	A5- A6	HC2
11	Equipamentos com dispositivo de içamento Equipamento para descarregamento de navio com dispositivode içamento	Garra, caçamba, tenaz ou eletroímã	A6-A8	HC3/HC4
12	Equipamentos para doca seca, equipamentos para estaleiro naval	Gancho	A3-A5	HC2
13	Equipamentos portuários	Gancho	A5-A6	HC2
14	Equipamentos portuários com dispositivo de içamento	Garra, caçamba, tenaz ou eletroímã	A6 - A8	HC3IHC4
15	Guindaste giratório	Gancho	A2 - A3	HC 1 /H C2

Fonte: Adaptado pelo autor com base na NBR 8400-1 (ABNT, 2019, p.11)

Para realizar a determinação da classificação do grupo e obter a classe de elevação do pórtico, deverá ser observado o local de indicação de uso do equipamento em análise.

#### 3.4.2 Solicitações atuantes sobre a estrutura

A NBR 8400-1 (ABNT, 2019), traz que os cálculos estruturais devem ser conduzidos observando as tensões desenvolvidas em um equipamento. Estas tensões devem ser calculadas com base nas cargas estabelecidas abaixo:

- a) Cargas principais;
- b) Cargas devido aos movimentos verticais;

- c) Cargas devido aos movimentos horizontais;
- d) Cargas devido aos efeitos climáticos;

### 3.4.2.1 Cargas principais

As cargas principais que atuam sobre os perfis da estrutura incluem:

- a) Cargas devido ao peso morto dos componentes:  $S_G$ ;
- b) Cargas devido à carga nominal de trabalho:  $S_L$ ;
- c) Todas as partes móveis consideradas na posição mais desfavorável;

Para os efeitos de cálculo de dimensionamento das estruturas, os elementos móveis deverão ser posicionados em suas respectivas posições mais desfavoráveis ao seu uso, para que se busque uma máxima tensão no elemento em questão.

### 3.4.2.2 Cargas devido ao movimento vertical

Quando se realiza uma operação de içamento de cargas, ocorrem oscilações nos elementos das estruturas. Tais oscilações devem ser levadas em consideração, multiplicando-se a carga nominal de trabalho por um fator denominado coeficiente dinâmico “ $\Psi$ ”.

A NBR 8400-1 (ABNT, 2019) traz que os efeitos dinâmicos da transferência de carga do solo para o equipamento devem ser levados em consideração pela multiplicação da força gravitacional devido à massa da carga içada por um fator  $\Psi$ .

Para a carga de trabalho o coeficiente dinâmico deve ser definido, conforme orienta a NBR 8400 o fator  $\Psi$ , conforme a Equação 1:

$$\Psi = \Psi_{\min} + \beta_2 V_h \quad (1)$$

Onde os valores de  $V_h$ ,  $\Psi_{\min}$ . e  $\beta_2$ , são valores obtidos através das tabelas 2 e 3.

Tabela 2 - Valores de  $\beta_2$  e  $\Psi_{\min}$ .

Classe de elevação do equipamento	$\beta_2$	$\Psi_{\min}$
HC1	0,17	1,05
HC2	0,34	1,10
HC3	0,51	1,15
HC4	0,68	1,20

Fonte: Adaptado pelo autor com base na NBR 8400-1 (ABNT, 2019, p.28)

Tabela 3 - Valores de  $V_h$ 

Caso de solicitação	Tipo de acionamento de elevação e seu método de operação				
	HD1	HD2	HD3	HD4	HD5
Caso I, Caso II	$V_h \cdot \text{máx.}$	$V_h \cdot \text{cs}$	$V_h \cdot \text{cs}$	$0,5 \times V_h \cdot \text{máx.}$	$V_h = 0$
Caso III	-	$V_h \cdot \text{máx.}$	-	$V_h \cdot \text{máx.}$	$0,5 \times V_h \cdot \text{máx.}$

onde:

HD1 é o mecanismo de elevação que não pode ser operado com velocidade baixa;

HD2 é uma velocidade baixa para o acionamento de elevação que pode ser selecionada pelo operador do equipamento;

HD3 é o sistema de controle de acionamento de elevação que assegura o uso de uma velocidade baixa estável até que a carga seja içada do solo;

HD4 é um controle de variação contínua de velocidade que pode ser utilizado pelo operador do equipamento;

HD5 é o sistema que após pré-tensionar o mecanismo de elevação, gera uma variação contínua de velocidade, independentemente do operador do equipamento;

$V_h \cdot \text{máx.}$  é a velocidade nominal de elevação; velocidade, independentemente do operador do equipamento;

$V_h \cdot \text{cs.}$  é a velocidade mais baixa de elevação ou primeiro ponto de velocidade que pode ser selecionado pelo operador.

Fonte: Adaptado pelo autor com base na NBR 8400-1 (ABNT, 2019, p.29)

Ainda segundo expõe a NBR 8400-1 (ABNT, 2019), o valor máximo a ser adotado para a velocidade de elevação aplicável nesta equação é 1.5 m/s. Para velocidades mais elevadas, o coeficiente dinâmico  $\Psi$  não é aumentado.

### 3.4.2.3 Cargas devido ao movimento horizontal

Como exemplifica Lorenzi (2018), 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.

Para a obtenção de tais tempos de aceleração e desaceleração, utiliza-se os valores contidos na tabela 4, de acordo com as três condições operacionais descritas abaixo:

- Equipamentos de velocidade baixa a moderada com grande extensão de deslocamento;
- Equipamentos de velocidade moderada a alta para aplicações normais;
- Equipamentos de alta velocidade com acelerações altas;

Tabela 4 - Tempos de e valores de aceleração

Velocidade a ser atingida m/s	Velocidade baixa e moderada com deslocamento longo		Velocidade moderada e alta (aplicações normais)		Alta velocidade com acelerações altas	
	Tempo de aceleração s	Aceleração m/s <sup>2</sup>	Tempo de aceleração s	Aceleração m/s <sup>2</sup>	Tempo de aceleração s	Aceleração m/s <sup>2</sup>
4,00			8,00	0,50	6,00	0,67
3,15			7,10	0,44	5,40	0,58
2,50			6,30	0,39	4,80	0,52
2,00	9,10	0,22	5,60	0,35	4,20	0,47
1,60	8,30	0,19	5,00	0,32	3,70	0,43
1,00	6,60	0,15	4,00	0,25	3,00	0,33
0,63	5,20	0,12	3,20	0,19		
0,40	4,10	0,098	2,50	0,16		
0,25	3,20	0,078				
0,16	2,50	0,064				

Fonte: Adaptado pelo autor com base na NBR 8400-1 (ABNT, 2019, p.32)

Para a realização dos cálculos, o movimento a ser considerado deve ser aplicado horizontalmente e paralelo ao sentido de movimento da carga, ou seja, paralelo aos trilhos das rodas motrizes.

A partir dos tempos e do valor da aceleração, calcula-se a força horizontal a ser aplicada, levando-se em consideração a massa a ser movimentada.

Segundo a NBR 8400-1 (ABNT, 2019) anexo B, o procedimento de cálculos das solicitações devido à aceleração de movimentos horizontais, deverá ser seguido conforme a seguinte sequência:

- a) Massa equivalente (m);

Massa equivalente única que se assume concentrada no ponto de suspensão da carga, fornecida pela equação abaixo:

$$m = m_0 + \sum_i \left[ \frac{(I_i w_i^2)}{V^2} \right] \quad (2)$$

onde:

$m_0$  é a massa total de todos os elementos, exceto a carga, sofrendo mesmo movimento linear puro que o ponto de suspensão da carga;

$I$  é o momento de inércia de uma peça sofrendo uma rotação durante o movimento em consideração, considerado sobre o eixo de rotação;

$\omega$  é a velocidade angular da peça referida, em relação ao seu eixo de rotação, correspondente à velocidade linear  $V$  do ponto de suspensão da carga.

b) Aceleração média ou desaceleração ( $J_m$ ):

A aceleração média é dada pela equação:

$$J_m = \frac{F}{(m + m_1)} \quad (3)$$

onde:

$m_1$  é a massa da carga, expressa em quilogramas (kg);

$F$  é a carga do vento, expressa em Newtons (N).

c) Duração média da aceleração ou desaceleração ( $T_m$ ):

É calculada pela equação:

$$T_m = \frac{V}{J_m} \quad (4)$$

onde:

$V$  é a velocidade de regime horizontal do ponto de suspensão de carga

d) Forças de inércia média ( $F_{cm}$ ):

Obtém-se da aceleração média  $J_m$  no ponto de suspensão da carga, multiplicando a mesma pela massa do componente em análise.

$$f_{cm} = m_1 J_m \quad (5)$$

e) Período de oscilação ( $T_1$ ):

É definido pela equação:

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \quad (6)$$

onde:

$l$  é o comprimento de suspensão da carga, expresso em metros (m), quando a mesma está em sua posição mais elevada, sendo que valores de  $l$  abaixo de 2,00m não precisam ser considerados;

$g$  é a aceleração da gravidade, expressa em metros por segundo ao quadrado ( $m/s^2$ )

f) Coeficiente dinâmico devido a aceleração de movimentos horizontais ( $\Psi_h$ ):

O valor para o coeficiente dinâmico  $\Psi_h$  é obtido na tabela 05, por relações entre outros dois valores,  $\mu$  e  $\beta$

onde:

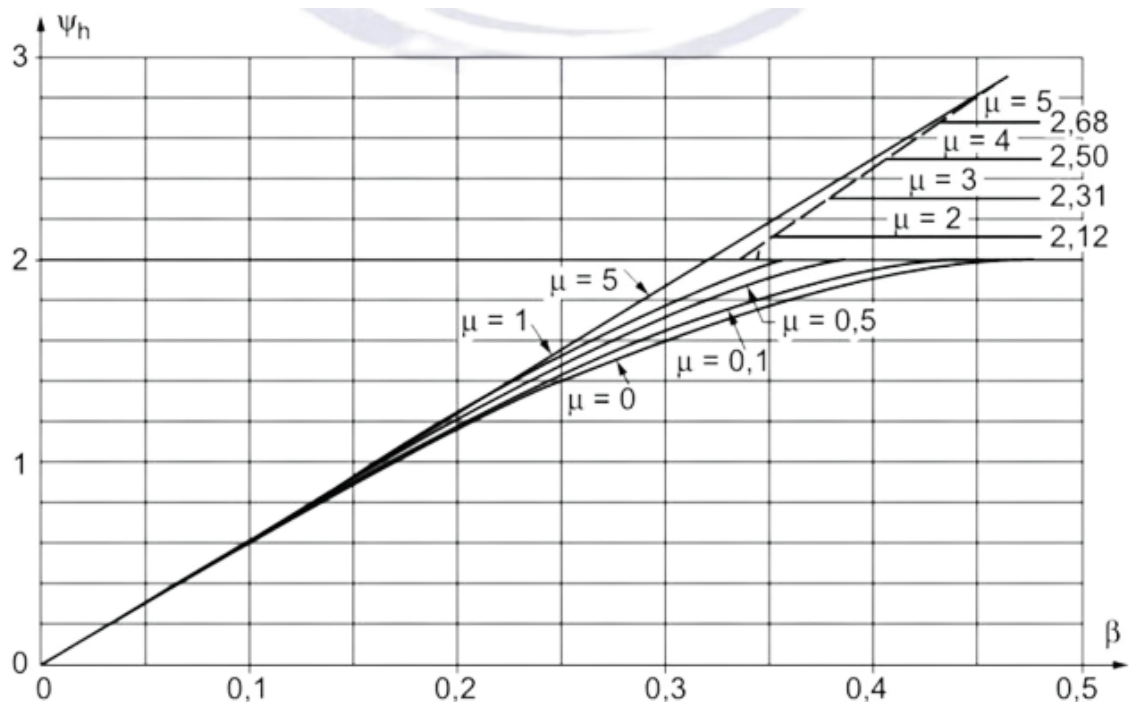
$$\mu = \frac{m_1}{m} \quad (7)$$

e,

$$\beta = \frac{T_m}{T_1} \quad (8)$$

Quando o sistema que aciona o movimento controla a aceleração e a desaceleração e o mantém em um valor constante,  $\mu$  é adotado como igual a zero, independente das massas  $m$  e  $m_1$ .



Tabela 5 - Coeficiente dinâmico  $\Psi_h$ 

Fonte: NBR 8400-1 (ABNT, 2019, p.64)

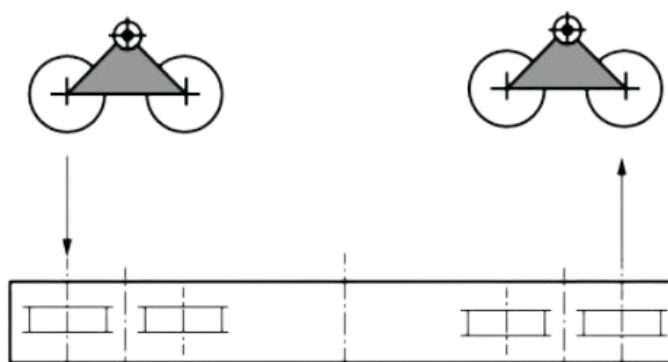
- g) Força de inércia máxima atuante sobre as estruturas do equipamento ( $F_{cm\acute{a}x}$ ):

$$F_{cm\acute{a}x} = \Psi_h F_{cm} \quad (9)$$

#### 3.4.2.4 Reações transversais devido ao movimento do equipamento

Quando em um equipamento tem-se a necessidade da utilização de rodas ou truques (Figura 10), tem que ser considerado que estes elementos geram forças perpendiculares aos trilhos guias.

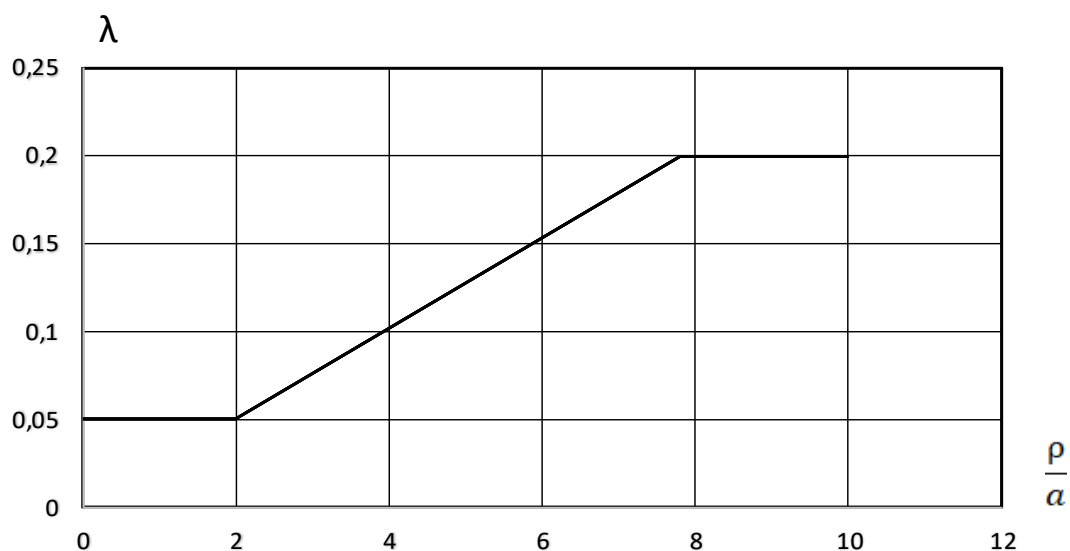
Figura 8 - Representação de truque



Fonte: NBR 8400-1 (ABNT, 2019, p.32)

Conforme a NBR 8400-1 (ABNT, 2019), as forças componentes deste binário são obtidas multiplicando a carga vertical exercida sobre as rodas ou truques pelo coeficiente  $\lambda$ , como mostrado no gráfico abaixo.

Tabela 6 - Coeficiente  $\lambda$



Fonte: Adaptado pelo autor com base na NBR 8400-1 (ABNT, 2019, p.33)

onde:

$\rho$  é o vão livre da estrutura observada;

$a$  é a distância entre eixos das rodas ou truques.

#### 3.4.2.5 Efeitos de choque

Deve-se analisar os efeitos de choque na estrutura considerando quando há uma colisão com o para-choque da estrutura e um possível impacto da carga suspensa.

A NBR 8400-1 (ABNT, 2019), traz que, para velocidades horizontais abaixo de 0,4 m/s, os efeitos de choque não podem ser considerados. E casos que excedam 0,7 m/s devem ser considerados.

Para os casos que serão considerados efeitos de choque, admite-se que o dispositivo que irá absorver a energia do impacto (para-choque), deverá absorver uma energia cinética do equipamento (sem a carga) em uma fração da velocidade nominal de trabalho  $V_t$ , fixada em  $0,7 V_t$ , (NBR 8400-1, ABNT, 2019).

### 3.4.2.6 Solicitações devido a fatores climáticos

Para casos que tratam de estruturas expostas à possível influências externas climáticas, deve-se então considerar esses fatores na hora do dimensionamento de uma estrutura.

A estrutura do pórtico será instalada a céu aberto, sendo assim deverá ser assumido que está exposto a ações de ventos horizontalmente que sopram em todas as direções.

Pode-se definir a pressão de vento de uma maneira simplificada como traz a NBR 8400-1 (ABNT, 2019). Sendo definida por:

$$q = 0,613 V_s^2 \quad (10)$$

onde:

$q$  é a pressão dinâmica, expressa em newtons por metro quadrado (N/m<sup>2</sup>);

$V_s$  é a velocidade do vento projetada, expressa em metros por segundo (m/s).

Definindo as condições de vento para o projeto, classifica-se em:

- a) Vento operacional em serviço;
- b) Vento fora de serviço;
- c) Ação do vento sobre a carga.

Para a pressão de vento em condição operacional de serviço utiliza-se a tabela 7, e para a condição de vento fora de serviço utiliza-se a tabela 8, respectivamente.

Tabela 7 - Pressão de vento em operação

<b>Tipo de equipamento</b>	<b>Pressão do vento operacional</b> N/m <sup>2</sup>	<b>Velocidade do vento operacional</b> m/s
Equipamentos de içamento facilmente protegidos contra a ação do vento ou projetados exclusivamente para uso em vento leve Operações de montagem	125	14
Todos os tipos de equipamentos normais instalados ao ar livre	250	20
Equipamentos que devem continuar a operar com ventos fortes	500	28

Fonte: Adaptado pelo autor com base na NBR 8400-1 (ABNT, 2019, p.33).

Tabela 8 - Pressão de vento fora de serviço

<b>Altura acima do nível do solo</b> m	<b>Pressão do vento de projeto fora de serviço</b> N/m <sup>2</sup>	<b>Velocidade aproximada equivalente do vento de projeto fora de serviço</b> m/s
0 a 20	800	36
20 a 100	1100	42
Mais de 100	1300	46

Fonte: Adaptado pelo autor com base na NBR 8400-1 (ABNT, 2019, p.33)

#### 3.4.2.7 Cargas diversas

Alguns pórticos e pontes rolantes de grande capacidade e grandes movimentações possuem anexadas em sua estrutura plataformas, escadas de acesso, cabine de operador ou passadiços. Tais estruturas podem ser consideradas como cargas diversas, e devem ser observadas durante os cálculos estruturais.

Seguindo a NBR 8400-1 (ABNT, 2019), as plataformas, escadas de acesso, cabine de operador ou passadiços devem ser projetadas para suportar as seguintes cargas concentradas:

- a) 3000 N para escadas e plataformas de manutenção onde materiais possam ser colocados;

- b) 1500 N para escadas e plataformas destinadas somente ao acesso de pessoas;
- c) 300 N como a força horizontal que pode ser exercida sobre o corrimão e o rodapé.

Estas cargas não podem ser utilizadas nos cálculos das vigas.

### 3.4.3 Casos de solicitação

Durante o processo de dimensionamento deverá ser considerado três casos diferentes de solicitações impostas nas estruturas, sendo elas:

- a) Caso I – serviço normal sem vento;
- b) Caso II – serviço normal com vento;
- c) Caso III – solicitações excepcionais.

Com todas as cargas definidas de acordo com 3.4.2, deve-se atribuir um coeficiente chamado de  $M_x$  para corrigir e anular tensões que resultam de métodos imperfeitos de cálculo. O coeficiente  $M_x$  varia conforme o grupo de classificação das estruturas e são indicados na tabela 9.

Tabela 9 - Valores do coeficiente de amplificação  $M_x$

Grupo do equipamento	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
$M_x$	1,00	1,02	1,05	1,08	1,11	1,14	1,17	1,20

Fonte: Adaptado pelo autor com base na NBR 8400-1 (ABNT, 2019, p.46)

#### 3.4.3.1 Caso I – equipamento em operação normal sem vento

Seguindo a NBR 8400-1 (ABNT, 2019), para este caso devem ser levados em consideração:

- a) As cargas estáticas devido ao peso próprio  $S_G$ ;
- b) As cargas de serviço  $S_L$  multiplicada pelo coeficiente dinâmico  $\Psi$ ;
- c) Dois efeitos horizontais  $S_H$  mais desfavoráveis entre aqueles estabelecidos em 3.4.2 excluindo os efeitos de choque.

Todas estas cargas a serem consideradas devem ser multiplicadas pelo coeficiente de amplificação  $M_x$  obtido indicado na tabela 9.

$$M_x (S_G + \Psi S_L + S_H) \quad (11)$$

Em casos onde o movimento de deslocamento ocorre somente para posicionar o equipamento e este normalmente não é utilizado para movimentar cargas, o efeito deste movimento não pode ser combinado com outro movimento horizontal. Por exemplo, este é o caso dos equipamentos de cais que, uma vez posicionados, manejam uma série de cargas. (NBR 8400-1, ABNT, 2019, p. 44).

#### 3.4.3.2 Caso II – equipamento em operação com vento limite de serviço

Igualmente ao caso I estas cargas devem ser multiplicadas pelo coeficiente  $M_x$ , mas deve-se adicionar os efeitos de vento limite de serviço descritos em 3.5.2.6.

$$M_x (S_G + \Psi S_L + S_H) + S_w \quad (12)$$

Os efeitos dinâmicos da aceleração e desaceleração não possuem os mesmos valores no caso II e no caso I, pois, quando o vento está atando, os tempos de aceleração ou frenagem não são os mesmos da condição estática. (NBR 8400-1, ABNT, 2019, p. 44).

#### 3.4.3.3 Caso III – equipamento submetido a solicitações excepcionais

Durante o dimensionamento devem ser consideradas situações que ocorrem excepcionalmente durante a vida de uso do equipamento. São casos que ocorrem com menor frequência e tendo em vista isso devem ser analisados de forma diferente.

A NBR 8400-1 (ABNT, 2019), cita que, as solicitações excepcionais ocorrem nos casos de equipamento fora de serviço com vento máximo, equipamento operando e submetido ao efeito de impacto no para-choque, equipamento em operação submetido à elevado torque de frenagem em situações de emergência e equipamentos submetidos a cargas de ensaios.

Para efeito de cálculo deve-se selecionar uma das seguintes combinações mais críticas a ser considerada (NBR 8400-1 ABNT, 2019):

- a) As cargas  $S_G$  devido ao peso próprio e a carga devido ao vento máximo  $S_{Wmáx}$ ;

$$S_G + S_{Wmáx} \quad (13)$$

- b) As  $S_G$  cargas devido ao peso próprio e  $S_L$  devido à carga de trabalho, mais o efeito de impacto no para-choque, somado ao  $S_T$  mais elevado, ou efeito de frenagem com altos torques em situação de emergência, em equipamento operando expostos a ventos;

$$S_G + S_L + S_T^6 \quad (14)$$

ou

$$S_G + S_L + S_{Hmáx} \quad (15)$$

- c) As  $S_G$ , cargas devido ao peso próprio e a solicitação devido ao produto  $\Psi_{\rho_1} S_L$  sendo que  $\rho_1$  é o coeficiente multiplicador para o ensaio dinâmico;

$$S_G + \Psi_{\rho_1} \times S_L \quad (16)$$

- d) As  $S_G$  cargas devido ao peso próprio e  $S_L$  devido à carga de trabalho, mais as solicitações devido ao enviesamento da ponte.

$$S_G + S_L + S_{HE} \quad (17)$$

#### 3.4.4 Verificação das estruturas

Como explica Lorenzi (2018), 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.

O limite de operação de içamento varia de acordo com cada projeto, cumprindo rigorosamente que o sistema opere com coeficiente de segurança de acordo com a NORMA ABNT NBR 8400. Condições de carregamento fora das especificadas podem ultrapassar o limite de escoamento do material, ponto onde começa a deformação irreversível, além de possível ruptura de componentes, risco a toda operação de elevação e transporte, riscos de segurança aos operadores e danos irreparáveis a estrutura do pórtico rolante (CARGNIN, 2022, p. 34).

#### 3.4.4.1 Elementos submetidos à tração ou compressão simples

Conforme a NBR 8400-2 (ABNT, 2019), a tensão calculada  $\sigma$  não pode exceder a tensão máxima admissível  $\sigma_a$  obtida ao dividir o limite de escoamento  $\sigma_E$  pelo coeficiente  $v_E$  que depende do caso de solicitação, conforme definido em 3.5.3.

Tabela 10 - Coeficiente de segurança em relação ao limite elástico  $v_E$

	<b>Caso I</b>	<b>Caso II</b>	<b>Caso III</b>
Valores de $v_E$	1,50	1,33	1,10
Tensão admissível $\sigma_a$	$\sigma_E/1,5$	$\sigma_E/1,33$	$\sigma_E/1,1$

Fonte: Adaptado pelo autor com base na NBR 8400-2 (ABNT, 2019, p.26)

#### 3.4.4.2 Elementos submetidos ao cisalhamento

Segundo a NBR 8400-2 (ABNT, 2019), a tensão admissível ao cisalhamento  $\tau_a$  tem o valor definido abaixo, sendo  $\sigma_a$  a tensão admissível à tração:

$$\tau_a = \frac{\sigma_a}{\sqrt{3}} \quad (18)$$

#### 3.4.4.3 Elementos submetidos a cargas combinadas

Para as tensões combinadas normais e cisalhantes  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$  e  $\tau_a$  respectivamente, têm-se dois pontos a serem analisados (NBR 8400-2, ABNT, 2019, p29).

- Se cada uma das tensões  $\sigma_x$  e  $\sigma_y$  é menor que  $\sigma_a$  e se  $\tau_{xy}$  é menor que  $\tau_a$ ;
- Se a tensão equivalente  $\sigma_{cp}$  é menor que a tensão  $\sigma_a$ , ou seja;

$$\sigma_{cp} = \sqrt{(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3 \tau_{xy}^2)} \leq \sigma_a \quad (19)$$

#### 3.4.4.4 Elementos submetidos a flambagem

Para os comprimentos de flambagem  $L_{fb}$  para o cálculo, são determinados através da seguinte equação:

$$L_{fb} = K L \quad (20)$$



Sendo:

$L_{fb}$  = Comprimento de flambagem

$L$  = Comprimento do perfil analisado

$K$  = Coeficiente em função dos vínculos fornecidos na figura 9

Figura 9 - Valores de K para diferentes vínculos

Tipo de fixação (a forma flambada é mostrada pela linha tracejada)						
Valor teórico de K	0,5	0,7	1,0	1,0	2,0	2,0
Valor de projeto de K	0,65	0,8	1,2	1	2,1	2
Representação esquemática das condições de extremidade		Sem rotação e sem translação				
		Com rotação e sem translação				
		Sem rotação e com translação				
		Com rotação e com translação				

Fonte: Adaptado pelo autor com base na NBR 8400-2 (ABNT, 2019, p.55)

Ainda para os elementos submetidos à flambagem, deve-se analisar os coeficientes críticos de flambagem, sendo eles expressos nas equações 21 e 22.

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 E I}{L_{fb}^2} \quad (21)$$

Sendo:

$P_{cr}$  = Carga crítica;

$E$  = Módulo de elasticidade;

$I$  = Menor momento de inércia para a área da seção analisada;

$$\sigma_{cr} = \frac{P_{cr}}{A} \quad (22)$$

Tem-se:

$\sigma_{cr}$  = Tensão crítica de flambagem;

$A$  = Área da seção analisada;

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos com a aplicação da metodologia, bem como realizados os cálculos necessários para a definição estrutural do equipamento apresentado.

### 4.1 COLETA DE DADOS

Para as informações impostas em 3.2, os dados foram coletados no local aonde o pórtico deverá ser instalado. Sendo elas:

- a) Carga nominal = 3000kg para o içamento da comporta, e 2000kg para a operação da máquina limpa grades;
- b) Altura do pé direito = 6000mm;
- c) Vão livre = 4000mm (maior distância);
- d) Ciclos de utilização = 2 ciclos por hora;
- e) Aplicações = Elevação de equipamentos para hidrelétrica;
- f) Velocidades de movimentação = 1,5 m/min.

### 4.2 CLASSIFICAÇÃO DA ESTRUTURA

A estrutura do pórtico a ser analisados, terá seu uso em uma usina hidrelétrica, das definições expostas em 3.4.1 tem-se:

- a) Referência 3 – Equipamentos para casa de força;
- b) Classe de elevação HC1;

Definida a classe de elevação do equipamento, a mesma será utilizada para obter-se as cargas de trabalho a serem consideradas para o dimensionamento.

#### 4.2.1 Solicitações atuantes sobre a estrutura

O item 3.4.2 mostra, as cargas que devem ser levadas em consideração durante o dimensionamento. Sendo elas definidas nas etapas 4.2.1.1 a 4.2.1.3.

##### 4.2.1.1 Cargas devido ao movimento vertical

Para resolução da equação 1, utilizando-se da classe de elevação HC1, na tabela 2 retira-se os valores para  $\Psi_{\text{mín.}}$  e  $\beta_2$ , sendo eles:

$$\beta_2 = 0,17$$

e

$$\Psi_{\min} = 1,05$$

Para o valor de  $V_h$ , será utilizado para efeito de cálculo o valor máximo exposto pela NBR 8400 (ABNT, 2019), sendo igual à 1,5.

$$\Psi = \Psi_{\min} + \beta_2 V_h$$

$$\Psi = 1,05 + 0,17 \times 1,5$$

$$\Psi = 1,305$$

Multiplicando-se o valor do coeficiente dinâmico  $\Psi$  pelo valor máximo da carga a ser movimentado obtém-se o valor da carga a ser aplicada ao movimento vertical de içamento:

Para o içamento da comporta:

$$\Psi \times 3000 = 3.915 \text{ kg } (38.406N)$$

Para o içamento do dispositivo de limpa grades:

$$\Psi \times 2000 = 2.610 \text{ kg } (25.604N)$$

#### 4.2.1.2 Cargas devido a movimentos horizontais

A utilização principal do pórtico em questão se dá na movimentação de uma comporta ensecadeira, única e exclusivamente para subida e descida da mesma em seu local de operação. Desta forma, não impõe à estrutura do pórtico cargas de trabalho devido à movimentos horizontais.

Sendo então as cargas devido a movimentos horizontais, reações transversais devido ao movimento do equipamento e efeitos de choque, desconsideradas durante as definições estruturais.

#### 4.2.1.3 Solicitações devido a fatores climáticos

O pórtico da análise em questão será instalado em um ambiente aberto, portanto, sujeito a todos os efeitos climáticos.

Para as pressões de vento serão utilizados os valores contidos nas tabelas 7 e 8. Da tabela 7 para definição da pressão do vento em operação, seleciona-se o tipo de equipamento como normal e instalado em local aberto ao ar livre. Desta forma considera-se a carga de pressão de vento é de  $250 \text{ N/m}^2$ .

Da tabela 8 para pressão do vento de projeto fora de serviço, será utilizada a carga de pressão de  $800 \text{ N/m}^2$ , uma vez que a estrutura do pórtico possui uma altura de 6 metros acima do nível do solo.

Definidas as pressões para o vento, é executada uma primeira suposição de viga, para se descobrir o valor da carga a ser aplicada na estrutura. Para a disposição das vigas de pé direito, viga de fechamento e vigas de ligação utiliza-se de uma viga W360 x 32,9, totalizando  $3,92 \text{ m}^2$  no sentido longitudinal. Para a disposição de viga principal, uma viga W310 x 44,5, totalizando  $8,10 \text{ m}^2$  no sentido transversal.

Para a carga de vento em operação multiplica-se a pressão de vento pela área da estrutura:  $250 [\text{N/m}^2] \times 3,92[\text{m}^2] = 980 \text{ N}$ , para o sentido longitudinal, e  $250 [\text{N/m}^2] \times 8,10 [\text{m}^2] = 2.025 \text{ N}$ , para o sentido transversal.

Do mesmo modo, para a carga de vento fora de serviço multiplica-se a pressão de vento pela área da estrutura:  $800 [\text{N/m}^2] \times 3,92[\text{m}^2] = 3.136 \text{ N}$ , para o sentido longitudinal, e  $800 [\text{N/m}^2] \times 8,10 [\text{m}^2] = 6.480 \text{ N}$ , para o sentido transversal.

### 4.3 CASOS DE SOLICITAÇÃO

Definidas todas as cargas a serem consideradas durante o dimensionamento do pórtico, deve-se então atribuir o coeficiente  $M_x$ . A tabela 1 apresenta que o grupo do equipamento pode variar de A2 até A4, para efeito de cálculo será utilizado o grupo mais desfavorável em questão sendo, portanto, o grupo A4.

Da tabela 9 retira-se por fim o valor do coeficiente de amplificação,  $M_x = 1,08$ .

#### 4.3.1 Caso I – equipamento em operação normal sem vento

A partir das especificações apresentadas, pode-se definir as cargas de projeto, impostas à estrutura. Para resolução da equação 9, será adotado um  $S_G$  de 588 kg, visto que a viga de rolamento possui uma massa linear de  $44,5 \text{ kg/m}$  e um comprimento total necessário de 13,2 metros.

Para o içamento da comporta:

$$1,08 \times (588 \times 9,81 + 38.406 + 0) = 47.708N$$

Para o içamento do dispositivo de limpa grades, o mesmo será composto por duas vigas principais, totalizando um  $S_G$  de 1.176 kg:

$$1,08 \times (1.176 \times 9,81 + 25.604 + 0) = 40.112N$$

#### 4.3.2 Caso II – equipamento em operação com vento limite de serviço

Para o caso da solicitação em questão será utilizada a equação 12:

$$M_x (S_G + \Psi S_L + S_H) + S_w$$

O valor de  $S_w$  para os dois casos de içamento será 980N para o sentido longitudinal, para a  $S_w$  transversal o valor de 2.025N deverá ser dividido por quatro, totalizando 506,25N, visto que a estrutura possui quatro pés direitos.

Solicitação longitudinal no içamento da comporta:

$$47.708 + 980 = 48.688N$$

Solicitação longitudinal no dispositivo de limpa grades:

$$40.112 + 980 = 41.092N$$

Solicitação transversal no içamento da comporta:

$$47.708 + 506,25 = 48.215N$$

Solicitação transversal no dispositivo de limpa grades:

$$40.112 + 506,25 = 40.619 N$$

#### 4.3.3 Caso III – equipamento submetido a solicitações excepcionais

As solicitações excepcionais para o Caso III, a NBR 8400-1 (ABNT, 2019), apresenta quatro opções indicadas em 3.4.3.2, sendo que para a análise em questão, será utilizada a equação 13, visto que as outras equações não se enquadram no pórtico da análise.

Para a resolução da equação será utilizada a carga  $S_G$  devido ao peso próprio das vigas e a carga  $S_{Wmáx}$  referente à carga máxima ( $S_G + S_{Wmáx}$ ):

Solicitação longitudinal no içamento da comporta:

$$(588 \times 9,81) + 3.136 = 8.905N$$

Solicitação longitudinal no dispositivo de limpa grades:

$$(1.176 \times 9,81) + 3.136 = 14.673N$$

Solicitação transversal no içamento da comporta:

$$(588 \times 9,81) + 1.620 = 7.389N$$

Solicitação transversal no dispositivo de limpa grades:

$$(1.176 \times 9,81) + 1.620 = 13.157N$$

Tabela 11 - Cargas de projeto (N)

<b>VIGAS</b>	<b>Caso I</b>	<b>Caso II</b>	<b>Caso III</b>
Içamento da Comporta Longitudinal	47.708	48.688	8.905
Içamento da Comporta Transversal		48.215	7.389
Içamento do Limpa Grades Longitudinal	40.112	41.902	14.673
Içamento do Limpa Grades Transversal		40.619	13.157

Fonte: Do autor (2022).

#### 4.4 VERIFICAÇÃO DAS ESTRUTURAS

Com as cargas previamente definidas pode-se dar início às verificações estruturais. Tais verificações fazem-se necessárias pois, são elas que podem validar que os perfis previamente escolhidos se mostram dentro das especificações apresentadas pela norma NBR 8400-1 (ABNT, 2019).

##### 4.4.1 Verificações para os perfis

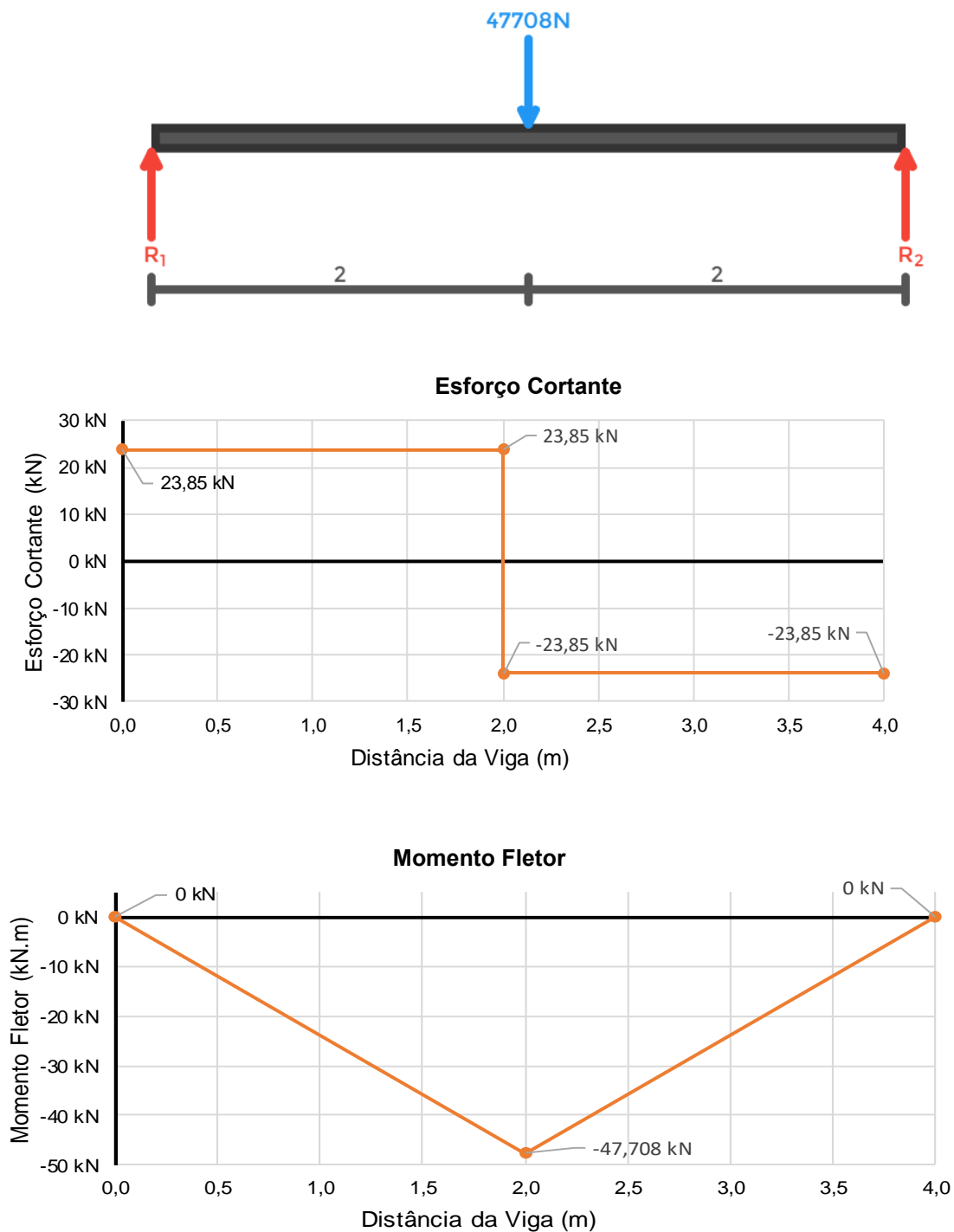
O pórtico que está sendo definido possui três vigas chamadas de viga principal, sendo uma viga para o içamento da comporta ensecadeira e duas vigas que acomodarão o dispositivo de limpa grades. Para simplificações de projeto para futura compra e fabricação será utilizado o mesmo perfil nas três vigas. Portanto para efeitos de cálculo serão realizadas as verificações no pior caso, sendo ele o içamento da comporta.

Para análise dos casos I, II e III considera-se a carga sendo aplicada no centro

da viga, ou seja, a 2 metros de suas extremidades. Como pode ser verificado nas figuras 11, 12 e 13.

Obtendo para o caso I, esforço cortante de 23.854 [N] e um momento fletor máximo de 47.708 [Nm].

Figura 10 - Diagramas caso I - viga principal



Fonte: Do autor (2022).

Do mesmo modo, para as vigas que sofrem os mesmos esforços, foram feitas as análises, sendo os resultados apresentados na tabela 11:

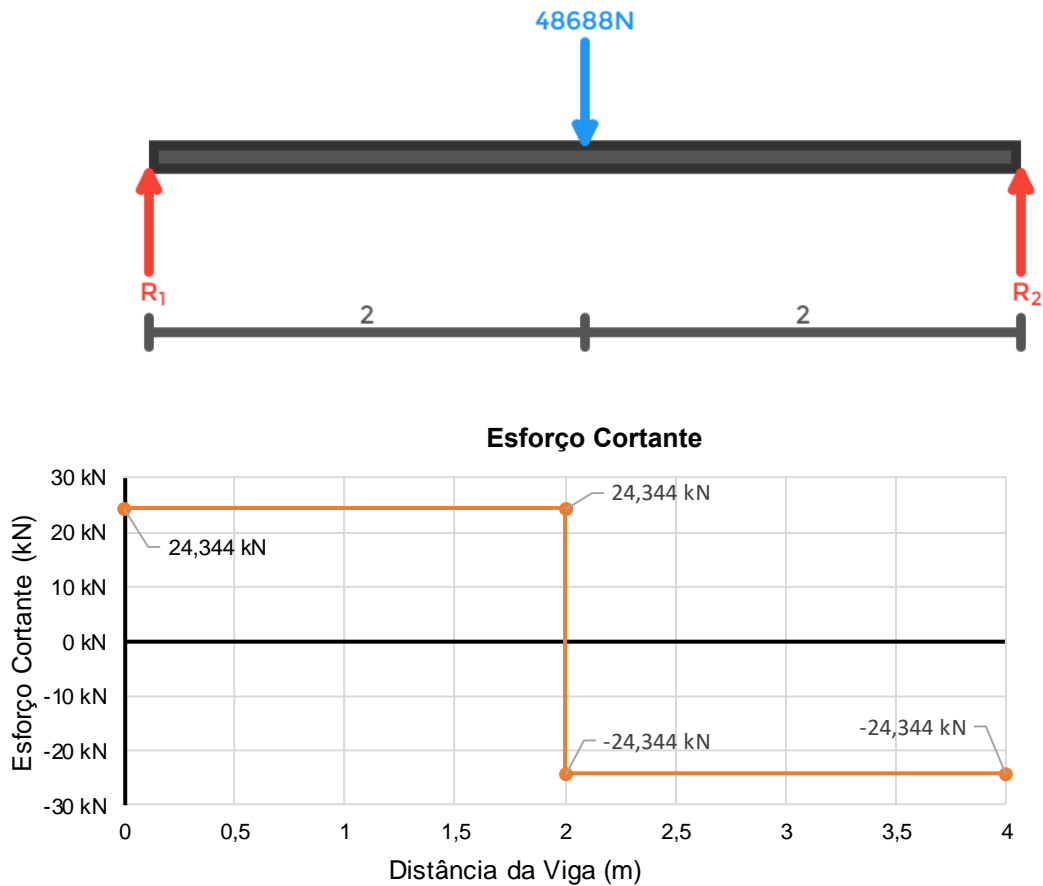
Tabela 12 - Esforços e momentos no caso I

VIGAS	Esforço Cortante [N]	Momento Fletor [kNm]
lçamento da Comporta	23.854	47.708
lçamento do Limpa Grades	20.056	40.112
Fechamento	11.927	23.854
Ligação - 01	10.028	20.056

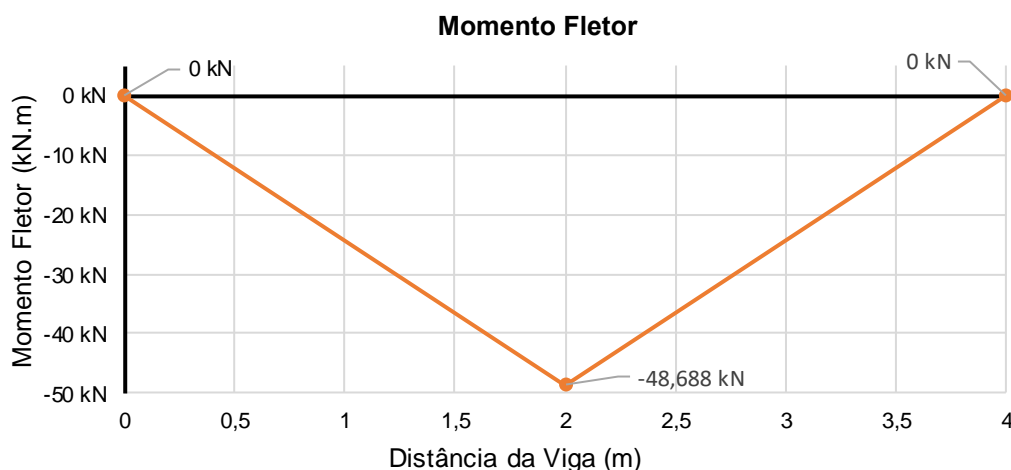
Fonte: Do autor (2022).

Obtendo para o caso II, esforço cortante de 24.344 [N] e um momento fletor máximo de 48.688 [Nm].

Figura 11 - Diagramas caso II - viga principal







Fonte: Do autor (2022).

Do mesmo modo, para as vigas que sofrem os mesmos esforços, foram feitas as análises, sendo os resultados apresentados na tabela 12:

Tabela 13 - Esforços e momentos no caso II

VIGAS	Esforço Cortante [N]	Momento Fletor [kNm]
lçamento da Comporta	24.344	48.688
lçamento do Limpa Grades	20.546	41.092
Fechamento	12.172	24.344
Ligação - 01	10.273	20.546

Fonte: Do autor (2022).

No caso III para a estrutura em análise, os valores de solicitações foram muito pequenos. Portanto, fazendo-se irrelevante para a estrutura, quando o comparamos aos casos I e II.

Considerando os momentos fletores máximos resultantes da carga aplicada no centro da viga, pode-se calcular com as equações 23 e 24 as tensões normais e cisalhantes, respectivamente, aplicadas.

$$\sigma = \frac{|W_{max}|}{W_x} \quad (23)$$

$$\tau = \frac{V}{A} \quad (24)$$

Onde  $W_{Max}$  é o momento fletor máximo,  $V$  é o esforço cisalhante máximo obtidos pelos diagramas de esforços,  $A$  é a área da viga a ser considerada e  $W_x$  é o módulo de resistência à flexão no eixo  $X$ , que podem ser encontrados na tabela do anexo A.

Assim o resultado das tensões normais para a viga principal é:

Para o caso I:

$$\sigma = \frac{47.708}{0,0006388} = 74,68 \text{ MPa}$$

$$\tau = \frac{V}{A} = \frac{23.854}{0,00572} = 4,17 \text{ MPa}$$

A verificação da tensão se dá através da tabela 10, onde diz que se deve dividir o valor do limite de escoamento do material (que pode ser obtido através do anexo A), por 1,5 para obter o valor de tensão admissível. Tem-se, portanto,

$$\sigma_a = \frac{345}{1,5} = 230 \text{ MPa}$$

Resolvendo a equação 18 para o cisalhamento:

$$\tau_a = \frac{245}{\sqrt{3}} = 141,43 \text{ MPa}$$

De tal forma a  $\sigma = 74,68 \text{ [MPa]} < \sigma_a = 230 \text{ [MPa]}$  e  $\tau = 4,17 \text{ [MPa]} < \tau_a = 141,43 \text{ [MPa]}$ , assim sendo, está de acordo com a norma.

Do mesmo modo, para as vigas que sofrem os mesmos esforços, foram feitas as análises, sendo os resultados apresentados na tabela 13:

Tabela 14 - Tensões resultantes no caso I

<b>VIGAS</b>	<b>Tensão Normal (<math>\sigma = 230</math> MPa)</b>	<b>Tensão Cisalhante (<math>\tau_a = 141,43</math> MPa)</b>
lçamento da Comporta	74,68	4,17
lçamento do Limpa Grades	31,40	1,75
Fechamento	49,80	2,83
Ligação - 01	41,87	2,38

Fonte: Do autor (2022).

Para o caso II:

$$\sigma = \frac{48.688}{0,0006388} = 76,22 \text{ MPa}$$

$$\tau = \frac{V}{A} = \frac{24.344}{0,00572} = 4,26 \text{ MPa}$$

A verificação da tensão se dá através da tabela 10, em que se deve dividir o valor do limite de escoamento do material (que pode ser obtido através do anexo A) por 1,3 para obter o valor de tensão admissível. Tem-se, portanto,

$$\sigma_a = \frac{345}{1,3} = 259,4 \text{ MPa}$$

Resolvendo a equação 18 para o cisalhamento:

$$\tau_a = \frac{259,4}{\sqrt{3}} = 149,76 \text{ MPa}$$

De tal forma a  $\sigma = 76,22$  [MPa] <  $\sigma_a = 259,4$  [MPa] e  $\tau = 4,26$  [MPa] <  $\tau_a = 149,76$  [MPa], assim sendo, está de acordo com a norma.

Do mesmo modo, para as vigas que sofrem os mesmos esforços foram feitas as análises, sendo os resultados apresentados na tabela 14:

Tabela 15 - Tensões resultantes no caso II

<b>VIGAS</b>	<b>Tensão Normal (<math>\sigma_a = 259,40</math> MPa)</b>	<b>Tensão Cisalhante (<math>\tau_a = 149,76</math> MPa)</b>
Içamento da Comporta	76,22	4,26
Içamento do Limpa Grades	32,16	1,80
Fechamento	50,82	2,89
Ligação - 01	42,89	2,44

Fonte: Do autor (2022).

Analisando os valores das tensões admissíveis calculadas em 4.4.1 e realizando uma comparação com a carga real aplicada (29.430 [N] para içamento da comporta e 19.620 [N] para içamento do limpa grades), têm-se por fim os coeficientes de majoração para cada elemento da estrutura mostrados abaixo na tabela 15.

Tabela 16 - Coeficientes de majoração dos elementos

<b>VIGAS</b>	<b>Tensão Normal (Coeficiente)</b>	<b>Tensão Cisalhante (Coeficiente)</b>
Içamento da Comporta	4,99	27,46
Içamento do Limpa Grades	14,96	82,22
Fechamento	7,48	40,40
Ligação - 01	11,23	60,70

Fonte: Do autor (2022).

Têm-se ainda dois perfis que não se enquadram nos casos apresentados acima, pois os esforços que os mesmos apresentam estão aplicados de forma diferente, sendo eles a viga de ligação 02 e viga de pé direito. Os cálculos e resultados destes, serão exemplificados a seguir.

Para a viga de ligação 02, pode se fazer uma simplificação de cálculo para uma rápida análise. A viga encontra-se inclinada com o plano horizontal. Para tal simplificação considera-se que a mesma esteja sendo tracionada com a carga máxima exigida na viga de ligação 01, carga esta que possui um valor de metade da carga de içamento do dispositivo de limpa grades.

Utilizando-se da equação 25, que menciona que a tensão normal é igual a força aplicada dividida pela área do material em análise, obtém-se o valor máximo de tensão aplicada nesta simplificação.

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (25)$$

A tabela 15 apresenta um resumo das solicitações para a viga de ligação 2.

Tabela 17 - Tensões normais (tração e compressão) nas vigas de ligação 02 e pé direito

<b>VIGAS</b>	<b>Tensão Normal - Caso I (<math>\sigma_a = 230 \text{ MPa}</math>)</b>	<b>Tensão Normal - Caso II (<math>\sigma_a = 259,40 \text{ MPa}</math>)</b>
Pé Direito	2,83	2,89
Ligação - 01	3,50	3,59

Fonte: Do autor (2022).

Considerando os resultados informados na tabela 15, verifica-se que as tensões impostas pela simplificação do cálculo, ficaram muito abaixo das tensões admissíveis exigidas pela norma, assim estando de acordo.

Para a disposição da viga de pé direito além de se analisar a tensão normal de compressão, deve ser analisada a carga e tensão crítica de flambagem da viga. Resolvendo as equações 21 e 22, têm-se:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \times 2,068 \times 10^{11} \times 0,00000291}{(6 \times 1,2)^2} = 114.572 \text{ N}$$

e

$$\sigma_{cr} = \frac{11862,3}{0,00421} = 27,72 \text{ MPa}$$

Para a resolução das equações acima, utilizou-se de 206,8 GPa para o módulo de elasticidade, obtido pelo anexo B para um aço carbono, uma inércia de 291 cm<sup>4</sup> e área de 42,1 cm<sup>2</sup> obtidos através do anexo A.

Analisando o resultado da equação 21 (114.572[N]) e realizando a comparação com a carga real aplicada (7.358 [N]), têm-se um coeficiente de 15,57 para a carga crítica de flambagem.

Do mesmo modo, analisando o resultado da equação 22 (27,72 [MPa]) e realizando a comparação com a tensão atuante (1,75 [MPa]), têm-se um coeficiente de 15,84 para a tensão crítica de flambagem.

#### 4.5 FINALIZAÇÃO DO PÓRTICO

O procedimento de fabricação, transporte e instalação, não está no escopo do trabalho, mas durante a realização deste, achou-se interessante mostrar a estrutura real do pórtico e o lugar onde o mesmo está instalado, para facilitar a leitura melhorar entendimento.

O pórtico foi instalado na tomada de água da usina hidrelétrica Boa Vista, que fica localizada na cidade de São Joaquim no estado de Santa Catarina.

A figura 12 contém imagens ilustrando o momento de montagem final no local de instalação.

Figura 12 - Montagem do pórtico



Fonte: Do autor (2022).

Por fim as imagens da figura 13 mostram o pórtico já instalado e pronto para uso pelo cliente.

Figura 13 - Pórtico finalizado



Fonte: Do autor (2022).

## 5. CONCLUSÃO

Através deste estudo concluiu-se que os pórticos rolantes têm uma função fundamental para usinas hidrelétricas, pois possibilitam a movimentação de equipamentos variados ou específicos de forma mais rápida, simples, segura e barata.

O dimensionamento e indicação das vigas da estrutura foi o objetivo principal desse trabalho, e sem dúvida é necessário grande atenção, pois é nessa etapa em que se determinam os tipos de tensões e esforços que atuam sobre os perfis. A utilização das normas brasileiras durante todo esse processo é imprescindível, já que é por elas que se definem as cargas e solicitações para projeto.

Os métodos de definição para estrutura apresentados são eficazes e se mostraram satisfatórios, porém pode-se realizar um estudo mais aprofundado visando reforçar a estrutura.

As vigas indicadas para a estrutura do pórtico firmaram-se satisfatórias às solicitações impostas, uma vez que as tensões máximas ficaram abaixo das exigidas pela norma brasileira. Obtendo no caso da viga mais exigida um coeficiente de 4,99, quando comparada à tensão aplicada e a admissível.

### 5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com as análises e resultados obtidos com esse trabalho, sugere-se para trabalhos futuros a realização dos seguintes estudos:

- Analisar as juntas entre os perfis indicados e indicar o melhor método para junção das mesmas;
- Adicionar nervuras ou vigas de reforço para travamento dos pés direito;
- Necessidade de adicionar perfis de contraventamento para aumentar a rigidez da estrutura como um todo;
- Analisar um sistema de fixação ao solo;
- Analisar o comportamento mecânico das juntas sob solicitação de fadiga.



## 6. REFERÊNCIAS

**ABNT NBR 7259 – Comportas hidráulicas - Terminologia** [Conferência] // ABNT. - RIO DE JANEIRO, abr. 2001.

**ABNT NBR 8400 – Equipamentos de elevação e movimentação de cargas** [Conferência] // ABNT. - RIO DE JANEIRO, jun. 2019.

ARAKAWA, B. H.; MANFRIN, L.; SALLA, R. C. **Cálculo estrutural de uma comporta ensecadeira**. 2013. 93 f. Monografia (Trabalho de conclusão do curso de Engenharia Mecânica) - Universidade São Francisco, Campinas, 2013.

BASTOS, E. M. D. T. **Parametrização e otimização estrutural de comportas ensecadeiras utilizando APDL**. 2018. 184 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Mecânicas) – Universidade de Brasília, UNB, Brasília, 2018

BENETTI, M. J. **Dimensionamento de um pórtico metálico para suporte de máquina limpa grades**. 2017. 32 f. Universidade Comunitária da Região de Chapecó, UNOCHAPECÓ, Chapecó, 2017.

CARGNIN, J. L. K. **Construção e instrumentação de pórtico rolante para movimentação de transformadores no instituto de redes inteligentes (INRI)**. 2022. 117 f. Monografia (Trabalho de conclusão do curso de Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Maria, UFSM, Santa Maria, 2022.

ERBISTE, P. C. F. **Comportas Hidráulicas**. 2.ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2002, 394p.

FREITAS, J. P. **Dimensionamento ótimo de pórticos de aço considerando ligações semi-rígidas e a instabilidade estrutural**. 2010. 136 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual do Norte Fluminense, UENF, Campo dos Goytacazes, 2010.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6.ed. São Paulo: Atlas. 2008.

LORENZI, R. T. **Dimensionamento estrutural de um pórtico rolante para levantamento de cargas de até 10 toneladas**. 2018. 86 f. Monografia (Trabalho de conclusão do curso de Engenharia Mecânica) – Universidade do Vale do Taquari, UNIVATES, Lajeado, 2018.

MATSUBARA, G. Y.; BATISTA, Eduardo. de M. **Dimensionamento estrutural de perfis de aço formados a frio na compressão axial: atualização dos estudos sobre os efeitos da interação entre modos de flambagem**. *In: XII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas*. jun. 2021

Norton, Robert L. **Projeto de máquinas: uma abordagem integrada** / Robert L. Norton; [tradução: Konstantinos Dimitriou Stavropoulos ... et al.]. – 4. ed. – Dados eletrônicos. Porto Alegre: Bookman, 2013.

OLIVEIRA, P. C. G. P.; FALCÓN, G. A. S. **Dimensionamento ótimo de pórtico de aço considerando ligações semirrígidas e análise não linear geométrica**. Centro Brasileiro da Construção em Aço (CBCA). Revista da Estrutura de Aço (REA), v.9, n.3, dez. 2020.

PASSOS, L. da C. dos. **Pontes rolantes, guindastes giratórios e acessórios de movimentação de cargas**. 2011. 129 f. Make Engenharia Assessoria e Desenvolvimento Brasil. abr. 2011.

RIBEIRO, F. J. G. **Dimensionamento de um Pórtico Rolante**. 2011. 198 f. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, FEUP, Porto, 2011.

REMOR, G. S. **Projeto conceitual de um pórtico rolante para movimentação de pallets**. 2012. 52 f. Monografia (Trabalho de conclusão do curso de Engenharia Mecânica) - Faculdade Horizontina, FAHOR, Horizontina, 2012.

SILVA, A.L.V. da Costa; MEI, P.R. **Aços e Ligas Especiais**. 2.ed. Sumaré, SP, Eletrometal Metal Especiais, 1988.

SILVA, E. L. da; MENEZES E. M. **Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação**. 4.ed. Florianópolis: UFSC, 2005.

SORDI, G. **Dimensionamento da viga principal de uma ponte rolante**. 2016. 60 f. Monografia (Trabalho de conclusão do curso de Engenharia Mecânica) - Centro Universitário Univates. Lajeado, 2016.

SOUZA, Z; SANTOS, A. H. M; BORTONI, E. C. **Centrais hidrelétricas: Implantação e Comissionamento**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2009.

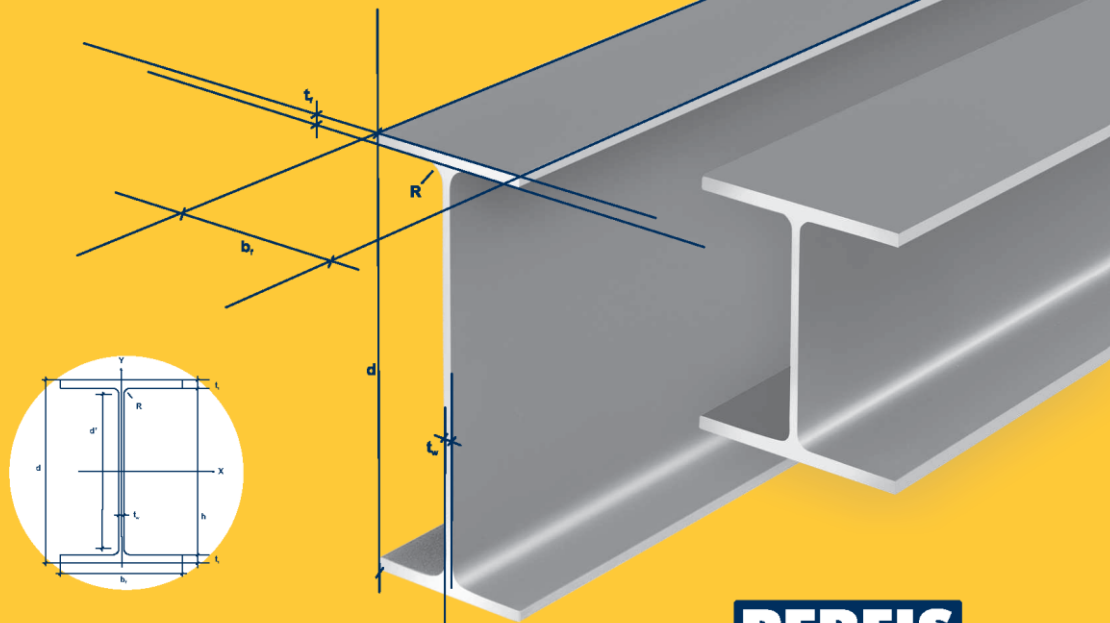
SOUBE, Gustavo. **Modelagem paramétrica de pórticos rolantes: Estabilidade Estrutural e Otimização**. 2005. 93 f. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Naval e Oceânica. São Paulo, 2005

Saur. **Máquina limpa grades telescópica para usinas hidrelétricas**. Disponível em: <<https://www.saur.com.br/pt/customizadas/maquina-limpa-grades/maquina-limpa-grades-telescopica-para-usinas-hidreletricas>>. Acesso em: 25 de jun. de 2022

Varallo, A. T. Melhoria de disponibilidade de unidade geradora com implantação de máquina limpa grade em tomadas d'água numa central hidroelétrica. **Revista SODEBRAS**, v.5. n.54, p3-5, jun. 2010.

## ANEXO A – Tabela de Bitolas GERDAU AÇOMINAS

## TABELA DE BITOLAS



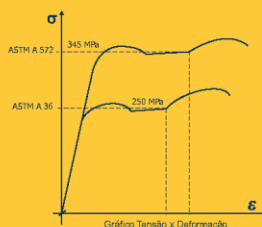
**PERFIS**  
GERDAU AÇOMINAS

## PROPRIEDADES MECÂNICAS

	ASTM A 572 Grau 50	AÇO COR 500
Limite de Escoamento (MPa)	<b>345 mín.</b>	370 mín.
Limite de Resistência (MPa)	<b>450 mín.</b>	500 mín.
Alongamento após ruptura, % ( $l_0 = 200$ mm)	<b>18 mín.</b>	18 mín.

Especificações de aço de acordo com a Norma NBR 7007:2002 são AR 350 e AR 350 COR, respectivamente.

## COMPARATIVO DE RESISTÊNCIA



## NOTAS:

- 1) Aço A 572 supera as solicitações do A 36.
- 2) Produzimos aço A 992 sob encomenda.
- 3) Produzimos aço A 131 sob encomenda e com certificação para uso naval (AH 32/36).
- 4) Material certificado DNV, ABS, BV, Lloyd's Register, Nippon Kaiji Kyokai e Korean Register.

**GERDAU**  
AÇOMINAS

São Paulo  
Av. das Nações Unidas, 8.501 - 7º andar  
Pinheiros - CEP 05425-070  
Fone: (11) 3094-6550 - Fax: (11) 3094-4283

<b>Belo Horizonte</b> (31) 3269-4321	<b>Curitiba</b> (41) 3641-3616	<b>Porto Alegre</b> (51) 3323-2981
<b>Recife</b> (81) 3452-7639	<b>Rio de Janeiro</b> (21) 2414-6933	<b>Vitória</b> (27) 3398-4431

E-mail: [perfis@gerdau.com.br](mailto:perfis@gerdau.com.br)

[www.gerdau.com.br/perfisgerdauacominas](http://www.gerdau.com.br/perfisgerdauacominas)



TABELA DE BITOLAS

BITOLA mm x kg/m	Massa Linear kg/m	d mm	b mm	ESPESURA		h mm	d' mm	EIXO X - X				EIXO Y - Y				r <sub>1</sub> cm	l <sub>1</sub> cm <sup>2</sup>	ESBELTEZ		C <sub>1</sub> cm <sup>2</sup>	u m <sup>2</sup> /m	BITOLA mm x kg/m	
				t <sub>1</sub> mm	t <sub>2</sub> mm			I <sub>x</sub> cm <sup>4</sup>	W <sub>x</sub> cm <sup>3</sup>	r <sub>x</sub> cm	Z <sub>x</sub> cm <sup>3</sup>	I <sub>y</sub> cm <sup>4</sup>	W <sub>y</sub> cm <sup>3</sup>	r <sub>y</sub> cm	Z <sub>y</sub> cm <sup>3</sup>			ABA - λ <sub>1</sub> b/Z <sub>1</sub>	ALMA - λ <sub>2</sub> d/L <sub>2</sub>				
W 150 x 13.0	13.0	148	100	4.3	4.9	138	118	16.6	635	85.8	6.18	96.4	82	16.4	2.22	25.5	2.60	1.72	10.20	27.49	4.181	0.67	W 150 x 13.0
W 150 x 18.0	18.0	153	102	5.8	7.1	139	119	23.4	939	122.8	6.34	139.4	126	24.7	2.32	38.5	2.69	4.34	7.18	20.48	6.683	0.69	W 150 x 18.0
W 150 x 22.5 (H)	22.5	152	152	5.8	6.6	139	119	29.0	1.229	161.7	6.51	179.6	387	50.9	3.65	77.9	4.10	4.75	11.52	20.48	20.417	0.88	W 150 x 22.5 (H)
W 150 x 24.0	24.0	160	102	6.6	10.3	139	115	31.5	1.384	173.0	6.63	197.6	183	35.9	2.41	55.8	2.73	11.08	4.95	17.48	10.206	0.69	W 150 x 24.0
W 150 x 29.8 (H)	29.8	157	153	6.6	9.3	138	118	38.5	1.739	221.5	6.72	247.5	556	72.6	3.80	110.8	4.18	10.95	8.23	17.94	30.277	0.90	W 150 x 29.8 (H)
W 150 x 37.1 (H)	37.1	162	154	8.1	11.6	139	119	47.8	2.244	277.0	6.85	313.5	707	91.8	3.84	140.4	4.22	20.58	6.64	14.67	39.930	0.91	W 150 x 37.1 (H)
W 200 x 15.0	15.0	200	100	4.3	5.2	190	170	19.4	1.305	130.5	8.20	147.9	87	17.4	2.12	27.3	2.55	2.05	9.62	39.44	8.222	0.77	W 200 x 15.0
W 200 x 19.3	19.3	203	102	5.8	6.5	190	170	25.1	1.686	166.1	8.19	190.6	116	22.7	2.14	35.9	2.59	4.02	7.85	29.31	11.098	0.79	W 200 x 19.3
W 200 x 22.5	22.5	206	102	6.2	8.0	190	170	29.0	2.029	197.0	8.37	225.5	142	27.9	2.22	43.9	2.63	6.18	6.38	27.42	13.868	0.79	W 200 x 22.5
W 200 x 26.6	26.6	207	133	5.8	8.4	190	170	34.2	2.611	252.3	8.73	282.3	330	49.6	3.10	76.3	3.54	7.65	7.92	29.34	32.477	0.92	W 200 x 26.6
W 200 x 31.3	31.3	210	134	6.4	10.2	190	170	40.3	3.168	301.7	8.86	338.6	410	61.2	3.19	94.0	3.60	12.59	6.57	26.50	40.822	0.93	W 200 x 31.3
W 200 x 35.9 (H)	35.9	201	165	6.2	10.2	181	161	45.7	3.437	342.0	8.67	379.2	764	92.6	4.09	141.0	4.50	14.51	8.09	25.90	69.502	1.03	W 200 x 35.9 (H)
W 200 x 41.7 (H)	41.7	205	166	7.2	11.8	181	157	53.5	4.114	401.4	8.77	448.6	901	108.5	4.10	165.7	4.53	23.19	7.03	21.86	83.948	1.04	W 200 x 41.7 (H)
W 200 x 46.1 (H)	46.1	203	203	7.2	11.0	181	161	58.6	4.543	447.6	8.81	495.3	1.535	151.2	5.12	229.5	5.58	22.01	9.23	22.36	141.342	1.19	W 200 x 46.1 (H)
W 200 x 52.0 (H)	52.0	206	204	7.9	12.6	181	157	66.9	5.298	514.4	8.90	572.5	1.784	174.9	5.16	265.8	5.61	33.34	8.10	19.85	166.710	1.19	W 200 x 52.0 (H)
HP 200 x 53.0 (H)	53.0	204	207	11.3	11.3	181	161	68.1	4.977	488.0	8.55	551.3	1.673	161.7	4.96	248.6	5.57	31.93	9.16	14.28	155.075	1.20	HP 200 x 53.0 (H)
W 200 x 59.0 (H)	59.0	210	205	9.1	14.2	182	158	76.0	6.140	584.8	8.99	655.9	2.041	199.1	5.18	303.0	5.64	47.69	7.22	17.32	195.418	1.20	W 200 x 59.0 (H)
W 200 x 71.0 (H)	71.0	216	206	10.2	17.4	181	161	91.0	7.660	709.2	9.17	803.2	2.537	246.3	5.28	374.5	5.70	81.66	5.92	15.80	249.976	1.22	W 200 x 71.0 (H)
W 200 x 86.0 (H)	86.0	222	209	13.0	20.6	181	157	110.9	9.498	855.7	9.26	984.2	3.139	300.4	5.32	458.7	5.77	142.19	5.07	12.06	317.844	1.23	W 200 x 86.0 (H)
W 250 x 17.9	17.9	251	101	4.8	5.3	240	220	23.1	2.291	182.6	9.96	211.0	91	18.1	1.99	28.8	2.48	2.54	9.53	45.92	13.735	0.88	W 250 x 17.9
W 250 x 22.3	22.3	254	102	5.8	6.9	240	220	28.9	2.939	231.4	10.09	267.7	123	24.1	2.06	38.4	2.54	4.77	7.39	37.97	18.629	0.89	W 250 x 22.3
W 250 x 25.3	25.3	257	102	6.1	8.4	240	220	32.6	3.473	270.2	10.31	311.9	149	29.3	2.14	46.4	2.58	7.06	6.07	36.10	22.955	0.89	W 250 x 25.3
W 250 x 28.4	28.4	260	102	6.4	10.0	240	220	36.6	4.046	311.2	10.51	357.3	178	34.8	2.20	54.9	2.62	10.34	5.10	34.38	27.636	0.90	W 250 x 28.4
W 250 x 32.7	32.7	258	146	6.1	9.1	240	220	42.1	4.937	382.7	10.83	428.5	473	64.8	3.35	99.7	3.86	10.44	8.02	36.03	73.104	1.07	W 250 x 32.7
W 250 x 38.5	38.5	262	147	6.6	11.2	240	220	49.6	6.057	462.4	11.05	517.8	594	80.8	3.46	124.1	3.93	17.63	6.56	33.27	93.242	1.08	W 250 x 38.5
W 250 x 44.8	44.8	266	148	7.6	13.0	240	220	57.5	7.158	538.2	11.15	606.3	704	95.1	3.50	146.4	3.96	27.14	5.69	28.95	112.398	1.09	W 250 x 44.8
HP 250 x 62.0 (H)	62.0	246	256	10.5	10.7	225	201	79.6	8.728	709.6	10.47	790.5	2.995	234.0	6.13	357.8	6.89	33.46	11.96	19.10	417.130	1.47	HP 250 x 62.0 (H)
W 250 x 73.0 (H)	73.0	253	254	8.6	14.2	225	201	92.7	11.257	889.9	11.02	983.3	3.880	305.5	6.47	463.1	7.01	56.94	8.94	23.33	552.900	1.48	W 250 x 73.0 (H)
W 250 x 80.0 (H)	80.0	256	255	9.4	15.6	225	201	101.9	12.550	980.5	11.10	1.088.7	4.313	338.3	6.51	513.1	7.04	75.02	8.17	21.36	622.878	1.49	W 250 x 80.0 (H)
HP 250 x 85.0 (H)	85.0	254	260	14.4	14.4	225	201	108.5	12.280	966.9	10.84	1.093.2	4.225	325.0	6.24	499.6	7.00	82.07	9.03	13.97	605.403	1.50	HP 250 x 85.0 (H)
W 250 x 89.0 (H)	89.0	260	256	10.7	17.3	225	201	113.9	14.237	1.095.1	11.18	1.224.4	4.841	378.2	6.52	574.3	7.06	102.81	7.40	18.82	712.351	1.50	W 250 x 89.0 (H)
W 250 x 101.0 (H)	101.0	264	257	11.9	19.6	225	201	128.7	16.352	1.238.8	11.27	1.395.0	5.549	431.8	6.57	656.3	7.10	147.70	6.56	16.87	828.031	1.51	W 250 x 101.0 (H)
W 250 x 115.0 (H)	115.0	269	259	13.5	22.1	225	201	146.1	18.920	1.406.7	11.38	1.597.4	6.405	494.6	6.62	752.7	7.16	212.00	5.86	14.87	975.265	1.53	W 250 x 115.0 (H)
W 310 x 21.0	21.0	303	101	5.1	5.7	292	272	27.2	3.776	249.2	11.77	291.9	98	19.5	1.90	31.4	2.42	3.27	8.68	53.25	21.628	0.98	W 310 x 21.0
W 310 x 23.8	23.8	305	101	5.6	6.7	292	272	30.7	4.346	285.0	11.89	332.1	116	22.9	1.94	36.9	2.45	4.65	7.54	48.50	25.594	0.99	W 310 x 23.8
W 310 x 28.3	28.3	309	102	6.0	8.9	291	271	36.5	5.500	356.0	12.28	412.0	158	31.0	2.08	49.4	2.55	8.14	5.73	45.20	35.441	1.00	W 310 x 28.3
W 310 x 32.7	32.7	313	102	6.6	10.8	291	271	42.1	6.570	419.8	12.49	485.3	192	37.6	2.13	59.8	2.58	12.91	4.72	41.12	43.612	1.00	W 310 x 32.7
W 310 x 38.7	38.7	310	165	5.8	9.7	291	271	49.7	8.581	553.6	13.14	615.4	727	88.1	3.82	134.9	4.38	13.20	5.51	46.66	163.728	1.25	W 310 x 38.7
W 310 x 44.5	44.5	313	166	6.6	11.2	291	271	57.2	9.997	638.8	13.22	712.8	855	103.0	3.87	158.0	4.41	19.90	7.41	41.00	194.433	1.26	W 310 x 44.5
W 310 x 52.0	52.0	317	167	7.6	13.2	291	271	67.1	11.909	751.4	13.33	842.5	1.026	122.9	3.91	188.8	4.45	32.61	6.33	35.61	236.422	1.27	W 310 x 52.0
HP 310 x 79.0 (H)	79.0	299	306	11.0	11.0	277	245	100.0	16.316	1.091.3	12.77	1.210.1	5.258	343.7	7.25	525.4	8.20	46.72	13.91	22.27	1.089.258	1.77	HP 310 x 79.0 (H)
HP 310 x 93.0 (H)	93.0	304	308	13.1	13.1	277	245	119.2	19.682	1.299.1	12.85	1.450.3	6.387	414.7	7.32	635.5	8.26	77.33	11.76	18.69	1.340.320	1.78	HP 310 x 93.0 (H)
W 310 x 97.0 (H)	97.0	308	305	9.9	15.4	277	245	123.6	22.284	1.447.0	13.43	1.594.2	7.286	477.8	7.68	725.0	8.38	92.12	9.90	24.77	1.558.682	1.79	W 310 x 97.0 (H)
W 310 x 107.0 (H)	107.0	311	306	10.9	17.0	277	245	136.4	24.839	1.597.3	13.49	1.768.2	8.123	530.9	7.72	806.1	8.41	122.86	9.00	22.48	1.754.271	1.80	W 310 x 107.0 (H)
HP 310 x 110.0 (H)	110.0	308	310	15.4	15.5	277	245	141.0	23.703	1.539.1	12.97	1.730.6	7.707	497.3	7.39	763.7	8.33	125.66	10.00	15.91	1.646.104	1.80	HP 310 x 110.0 (H)
W 310 x 117.0 (H)	117.0	314	307	11.9	18.7	277	245	149.9	27.563	1.755.6	13.56	1.952.6	9.024	587.9	7.76	893.1	8.44	161.61	8.21	20.55	1.965.950	1.80	W 310 x 117.0 (H)
HP 310 x 125.0 (H)	125.0	312	312	17.4	17.4	277	245	159.0	27.076	1.735.6	13.05	1.963.3	8.823	565.6	7.45	870.6	8.38	177.98	8.97	14.09	1.911.029	1.81	HP 310 x 125.0 (H)
W 360 x 32.9	32.9	349	127	5.8	8.5	332	308	42.1	8.358	479.0	14.09	736.8	404	57.7	2.83	90.9	3.49	9.15	7.47	53.10	84.111	1.17	W 360 x 32.9
W 360 x 39.0	39.0	353																					

## ANEXO B – Propriedades dos Materiais

**Tabela A-1 Propriedades físicas de alguns materiais de engenharia**

Dados de várias fontes. \* Estas propriedades são essencialmente similares para todas as ligas do material analisado

Material	Módulo de elasticidade $E$		Módulo de rigidez $G$		Coeficiente de Poisson $\nu$	Densidade em peso $\gamma$	Densidade em massa $\rho$	Gravidade específica
	Mpsi	GPa	Mpsi	GPa		lb/in <sup>3</sup>	Mg/m <sup>3</sup>	
Ligas de alumínio	10,4	71,7	3,9	26,8	0,34	0,10	2,8	2,8
Cobre berílio	18,5	127,6	7,2	49,4	0,29	0,30	8,3	8,3
Latão, bronze	16,0	110,3	6,0	41,5	0,33	0,31	8,6	8,6
Cobre	17,5	120,7	6,5	44,7	0,35	0,32	8,9	8,6
Ferro, fundido, cinza	15,0	103,4	5,9	40,4	0,28	0,26	7,2	7,2
Ferro, fundido, dúctil	24,5	168,9	9,4	65,0	0,30	0,25	6,9	6,9
Ferro, fundido, maleável	25,0	172,4	9,6	66,3	0,30	0,26	7,3	7,3
Ligas de magnésio	6,5	44,8	2,4	16,8	0,33	0,07	1,8	1,8
Ligas de níquel	30,0	206,8	11,5	79,6	0,30	0,30	8,3	8,3
Aço, carbono	30,0	206,8	11,7	80,8	0,28	0,28	7,8	7,8
Aço, ligas	30,0	206,8	11,7	80,8	0,28	0,28	7,8	7,8
Aço, inoxidável	27,5	189,6	10,7	74,1	0,28	0,28	7,8	7,8
Ligas de titânio	16,5	113,8	6,2	42,4	0,34	0,16	4,4	4,4
Ligas de zinco	12,0	82,7	4,5	31,1	0,33	0,24	6,6	6,6

\**Properties of Some Metals and Alloys*, International Nickel Co., Inc., N. Y.; *Metals Handbook*, American Society for Metals, Materials Park, Ohio.

Fonte: Adaptado pelo autor com base em Projeto de Máquinas (4. ed. 2013, p.998)