

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Andrei Righi Seixas

**PROJETO DE PÓRTICO ROLANTE PARA MOVIMENTAÇÃO DE
TRANSFORMADORES NO INSTITUTO DE REDES INTELIGENTES
(INRI)**

Santa Maria, RS
2020

Andrei Righi Seixas

**PROJETO DE PÓRTICO ROLANTE PARA MOVIMENTAÇÃO DE
TRANSFORMADORES NO INSTITUTO DE REDES INTELIGENTES (INRI)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da
Universidade Federal de Santa Maria (UFSM),
como requisito parcial para obtenção do grau de
Engenheiro Mecânico.

Orientador: Prof. Alexandre Aparecido Buenos

Santa Maria, RS
2020

Andrei Righi Seixas

**PROJETO DE PÓRTICO ROLANTE PARA MOVIMENTAÇÃO DE
TRANSFORMADORES NO INSTITUTO DE REDES INTELIGENTES (INRI)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Engenheiro Mecânico**.

Submetido em 11 de setembro de 2020.

Prof. Alexandre Aparecido Buenos, Dr. Eng. (DEM/UFSM)
(Presidente / Orientador)

Prof. Leonardo Nabaes Romano, Dr. Eng. (DEM/UFSM)

Prof. Tiago dos Santos, Dr. Eng. (DEM/UFSM)

Santa Maria, RS
2020

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus por oferecer-me energias positivas para bem realizar este trabalho.

Agradeço a minha família, em especial ao meu pai Vitor e a minha mãe Tânia pelo abrigo imaterial e por nunca medirem esforços para que eu pudesse desenvolver-me ao máximo.

Aos amigos, os quais não nomino, pois tive a sorte de contar com muitos, sou grato por todo apoio, conselhos, distração e motivação.

Ao meu orientador, Prof. Alexandre Buenos, agradeço pela confiança, presença e todos os ensinamentos.

Por fim, e ainda muito importante, sou grato à instituição de ensino UFSM por garantir-me a oportunidade de acesso à educação superior pública de qualidade.

*“Dê-me uma alavanca e um ponto de apoio e
levantarei o mundo”*

(Arquimedes)

RESUMO

PROJETO DE PÓRTICO ROLANTE PARA MOVIMENTAÇÃO DE TRANSFORMADORES NO INSTITUTO DE REDES INTELIGENTES (INRI)

AUTOR: Andrei Righi Seixas

ORIENTADOR: Alexandre Aparecido Buenos

O Instituto de Redes Inteligentes (INRI) é um instituto vinculado ao Centro de Tecnologia (CT) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) que executa diferentes atividades relacionadas a redes e a energia, dispõe de laboratórios e instalações que permitem desde simulações computacionais até ensaios destrutivos de componentes elétricos, desenvolvendo pesquisa institucional e realizando serviços a terceiros. Um destes serviços é o ensaio de transformadores elétricos, realizado no Laboratório de Ensaios de Média Tensão. Atualmente o instituto dispõe somente de uma empilhadeira com capacidade de carga de 2 (duas) toneladas para movimentação destes transformadores, que não atende suas demandas nem garante segurança aos operadores. Desta forma, tem-se a necessidade de um equipamento que suporte cargas mais elevadas e possibilite o içamento dos transformadores de cima da carroceria de caminhões. Dentre as máquinas de elevação e transporte, Pórticos Rolantes são equipamentos que permitem movimentação e elevação de cargas sem necessitar edificações especiais e ainda permitem livre movimentação de sua estrutura. O presente trabalho compreende um estudo acadêmico que tem por objetivo desenvolver o projeto de um pórtico rolante para movimentação de transformadores elétricos nas dependências do INRI, não há responsabilidade técnica dos envolvidos junto ao Conselho Regional de Engenharia e Agronomia (CREA). Para o desenvolvimento do projeto são realizadas a revisão bibliográfica referente ao tópico e a revisão de normas vigentes. Além disso, é utilizada uma metodologia de projeto composta pelas fases de projeto informacional, conceitual, preliminar e detalhado. Como resultado deste trabalho acadêmico, tem-se o projeto de pórtico com capacidade de carga de 10 (dez) toneladas que atenda às necessidades levantadas pelo INRI.

Palavras-chave: Pórtico Rolante. Máquinas de Elevação e Transporte. Projeto. Fabricação. Transformadores.

ABSTRACT

GANTRY CRANE DESIGN FOR TRANSFORMERS HANDLING IN THE INTELLIGENT NETWORKS INSTITUTE (INRI)

AUTHOR: Andrei Righi Seixas
ADVISOR: Alexandre Aparecido Buenos

The Intelligent Networks Institute (INRI) is an institute linked to the Technology Center (CT) of the Federal University of Santa Maria (UFSM) that performs many different activities related to networks and energy, has laboratories and facilities that allow from computer simulations to destructive testing of electrical components, developing institutional research and performing services to third parties. One of these services is the testing of electrical transformers, carried out at the Medium Voltage Testing Laboratory. Currently, the institute has only a forklift with a load capacity of 2 (two) tonnes to handle these transformers, which does not meet their demands or guarantee safety to operators. Thus, there is the necessity for equipment that supports higher loads and makes possible to lift the transformers from above the truck body. Among the lifting and moving machines, Gantry Cranes are equipment that allow the movement and lifting of loads without the need of special buildings and still allow the free movement of its structure. The present task comprises an academic study that aims to develop the design of a gantry used to handle electric transformers in the INRI facilities. For the development of the project, a bibliographic review of the topic and a review of current rules are carried out. Moreover, are used a project management methodology composed of the informational, conceptual, preliminary and detailed design phases. The result of the work is a gantry crane design with load capacity of 10 (ten) tonnes that meets the needs raised by INRI.

Keywords: Gantry Crane. Lifting and Moving Machines. Design. Manufacture. Transformer.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Classificação das máquinas de elevação e transporte.	21
Figura 2 - Componentes de um pórtico rolante.....	24
Figura 3 - Pórtico rolante monoviga.	26
Figura 4 - Pórtico rolante biviga.	27
Figura 5 - Semipórtico rolante.	27
Figura 6 - Entradas e resultados do projeto detalhado.	32
Figura 7 - Processo de desenvolvimento de produtos.	34
Figura 8 - Fluxograma das etapas da fase de projeto informacional.	34
Figura 9 - Fluxograma das etapas da fase de projeto conceitual.	37
Figura 10 - Fluxograma das etapas da fase de projeto preliminar.	39
Figura 11 - Fluxograma das etapas da fase de projeto detalhado.	40
Figura 12 - Diagrama de Mudge para valoração dos requisitos de cliente.	49
Figura 13 - Diagrama de blocos da função global.	58
Figura 14 - Diagrama funcional.	59
Figura 15 - Princípios de solução para a Função Elementar 1.....	63
Figura 16 - Princípios de solução para a Função Elementar 2.....	63
Figura 17 - Princípios de solução para a Função Elementar 3.....	64
Figura 18 - Princípios de solução para a Função Elementar 4.....	65
Figura 19 - Princípios de solução para a Função Elementar 5.....	65
Figura 20 - Princípios de solução para a Função Elementar 6.....	66
Figura 21 - Princípios de solução para a Função Elementar 7.....	67
Figura 22 - Princípios de solução para a Função Elementar 8.....	67
Figura 23 - Princípios de solução para a Função Elementar 9.....	68
Figura 24 - Princípios de solução para a Função Elementar 10.....	69
Figura 25 - Princípios de solução para a Função Elementar 11.....	69
Figura 26 - Informações técnicas do perfil da viga principal.	78
Figura 27 - Informações técnicas do perfil U.	78
Figura 28 - Árvore de produto.	81
Figura 29 - Modelagem do Subconjunto da Viga Principal.....	83
Figura 30 - Modelagem do Modelagem da Estrutura de Sustentação.	84
Figura 31 - Modelagem da montagem do pórtico rolante.....	84
Figura 32 - Isopletas da velocidade básica.....	88

Figura 33 - Diagramas de tensão cortante e momento fletor da viga principal.....	92
Figura 34 - Diagrama de deflexão da viga principal.	94
Figura 35 - Vista lateral da estrutura de sustentação.	95
Figura 36 - Diagrama de tensão cortante da viga principal, caso não uniforme.	97
Figura 37 - Vista frontal do pórtico rolante.	98
Figura 38 – Condições de contorno para Análise A.	102
Figura 39 – Condições de contorno para Análise B.	102
Figura 40 - Deslocamentos totais Análise A.	103
Figura 41 - Deslocamentos totais Análise B.	104
Figura 42 - Tensões pelo critério de Von Mises Análise A.....	105
Figura 43 - Tensões pelo critério de Von Mises Análise B.....	105
Figura 44 - Instrução de corte da chapa de meia polegada.....	107
Figura 45 - Representação das uniões parafusadas.	108

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Necessidades dos clientes.	44
Tabela 2 - Requisitos de cliente ordenados por importância.	49
Tabela 3 - Ordem de prioridade dos requisitos de projeto.	54
Tabela 4 - Matriz de avaliação.	74
Tabela 5 - Matriz de decisão.	75
Tabela 6 - Detalhamento das dimensões dos rodízios.	77
Tabela 7 - Lista de materiais.	79
Tabela 8 - Lista de componentes.	81
Tabela 9 - Classes de utilização.	85
Tabela 10 - Estados de carga.	86
Tabela 11 - Classificação da estrutura dos equipamentos em grupos.	86
Tabela 12 - Valores do coeficiente de majoração para equipamentos industriais.	86
Tabela 13 - Valores do coeficiente dinâmico ψ	87
Tabela 14 - Valores de coeficiente aerodinâmico.	89
Tabela 15 - Tensões admissíveis à tração ou compressão simples.	90
Tabela 16 - Deslocamento máximo de vigas.	94
Tabela 17 - Relação do coeficiente de flambagem.	96
Tabela 18 - Tensões constantes alternadas, em NaN/mm^2	99

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Análise de pórticos existentes.	42
Quadro 2 – Análise de talhas e troles existentes.	43
Quadro 3 - Transformação das necessidades dos clientes em requisitos de cliente.	44
Quadro 4 - Descrição e classificação dos requisitos de cliente.	46
Quadro 5 - Conversão dos requisitos de cliente em requisitos de projeto.....	52
Quadro 6 - Matriz morfológica.....	60
Quadro 7 - Concepções preliminares.....	70

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAD	Computer Aided Design
CAE	Computer Aided Engineering
CREA	Conselho Regional de Engenharia e Agronomia
CT	Centro de Tecnologia
FE	Função Elementar
FG	Função Global
FP	Função Parcial
INRI	Instituto de Redes Inteligentes
NAFA	Núcleo de Automação e Fabricação
NBR	Norma Brasileira
MPA	Multi-Pass Adaptive
QFD	Quality Function Deployment
UFSM	Universidade Federal de Santa Maria

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Designação genérica de área
A_t	Secção transversal da viga principal
C	Coefficiente aerodinâmico
d	Distância do centro de gravidade até a extremidade da secção
E	Módulo de elasticidade
F	Designação genérica de carga
F_S	Carga de serviço
F_W	Força devida à ação do vento
$F_{m\acute{a}x}$	Carga máxima
I_X	Momento de inércia ao plano yz
I_Y	Momento de inércia ao plano xz
M_X	Coefficiente de majoração aplicável ao cálculo das estruturas
$M_{m\acute{a}x}$	Momento fletor máximo
P_a	Pressão aerodinâmica
R	Razão entre tensão mínima e máxima
S	Solicitação total
S_A	Solicitação devida ao vento sobre uma superfície
S_G	Solicitação devida ao peso próprio
S_H	Solicitação devida aos movimentos horizontais
S_L	Solicitação devida à carga de serviço
S_W	Solicitação devida ao vento limite de serviço
V	Vão livre
V_{AB}	Força vertical em casos de solicitação simétrica
v_W	Velocidade do vento
ϑ	Coefficiente de Poisson
σ_G	Tensão resultante das solicitações devidas ao peso próprio
σ_a	Tensão admissível à tração ou compressão
σ_{cp}	Tensão de análise
σ_e	Tensão limite de escoamento
σ_f	Tensão crítica de fadiga
σ_r	Tensão de ruptura do material

σ_x	Tensão normal ao plano yz nos esforços combinados
σ_y	Tensão normal ao plano xz nos esforços combinados
$\sigma_{m\acute{a}x}$	Tensão máxima
$\sigma_{m\acute{i}n}$	Tensão mínima
σ_w	Tensão constante alternada
σ_0	Tensão de fadiga teórica para tensão mínima tendendo à zero
σ_{+1}	Tensão de fadiga teórica para tensão mínima tendendo à tensão máxima
τ	Tensão de cisalhamento
τ_a	Tensão de cisalhamento admissível
τ_{xy}	Tensão de cisalhamento agindo no plano normal à direção de σ_x (ou σ_y)
$\tau_{m\acute{a}x}$	Tensão de cisalhamento máxima
ψ	Coefficiente dinâmico a ser aplicado à solicitação devida à carga de serviço
δ	Flexão calculada
δ_a	Flexão admissível

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	17
1.1 OBJETIVOS	19
1.1.1 Objetivo Geral	19
1.1.2 Objetivos Específicos	19
1.2 DESCRIÇÃO DOS CAPÍTULOS	20
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
2.1 TIPOS DE MÁQUINAS DE ELEVAÇÃO E TRANSPORTE	21
2.1.1 Componentes das máquinas de elevação e transporte	22
2.2 ESCOLHA DE MÁQUINA DE ELEVAÇÃO TRANSPORTE	23
2.3 PÓRTICOS ROLANTES	23
2.3.1 Componentes de um pórtico rolante	24
2.3.2 Tipos de pórticos rolantes	25
2.3.2.1 <i>Monoviga</i>	25
2.3.2.2 <i>Biviga</i>	26
2.3.2.3 <i>Semipórticos rolante</i>	27
2.4 PROJETO DE MÁQUINA	28
2.4.1 Projeto informacional	28
2.4.2 Projeto conceitual	29
2.4.3 Projeto preliminar	30
2.4.4 Projeto detalhado	31
2.5 NORMAS TÉCNICAS RELACIONADAS AO PROJETO	32
3. METODOLOGIA	34
3.1 PROJETO INFORMACIONAL	34
3.2 PROJETO CONCEITUAL	36
3.3 PROJETO PRELIMINAR	39
3.4 PROJETO DETALHADO	40
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	42
4.1 PROJETO INFORMACIONAL	42
4.1.1 Análise dos produtos existentes no mercado	42
4.1.2 Definição dos requisitos de cliente	44
4.1.3 Valoração dos requisitos de cliente	49
4.1.4 Obtenção dos requisitos de projeto	52
4.1.5 Hierarquização dos requisitos de projeto	54
4.1.6 Especificações de projeto	56

4.2 PROJETO CONCEITUAL	57
4.2.1 Identificação das funções.....	57
4.2.2 Diagrama funcional.....	58
4.2.3 Matriz morfológica	59
4.2.4 Concepções preliminares	70
4.2.5 Avaliação das concepções preliminares	73
4.3 PROJETO PRELIMINAR	76
4.3.1 Classificação da arquitetura do produto	76
4.3.2 Seleção de materiais	77
4.3.3 Lista de materiais e custos.....	79
4.3.4 Árvore de produto.....	80
4.3.5 Lista de componentes.....	81
4.3.6 Modelagem.....	83
4.3.7 Dimensionamento da estrutura.....	85
4.3.7.1 Classificação da estrutura	85
4.3.7.2 Solicitações	87
4.3.7.3 Definição das tensões admissíveis.	90
4.3.7.4 Verificação da viga principal	90
4.3.7.5 Verificação da estrutura de sustentação.....	95
4.3.7.6 Verificação da estrutura à fadiga	99
4.4 PROJETO DETALHADO	100
4.4.1 Análise numérica.....	101
4.4.2 Desenhos técnicos	106
4.4.3 Orientações de fabricação	106
4.4.4 Orientações de montagem	107
5. CONCLUSÃO	110
5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	111
REFERÊNCIAS	112
APÊNDICE A – QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT (QFD)	116
APÊNDICE B – DESENHOS TÉCNICOS DO PROJETO.....	117

1. INTRODUÇÃO

A mecanização dos processos relacionados com o movimento de cargas, foi o principal estímulo para o notável progresso alcançado em muitas empresas, conforme cita Rudenko (1976). Em adição, Tamasauskas (2000) afirma que as atividades inerentes a um processo produtivo estão vinculadas a uma movimentação interna de cargas, seja de forma contínua ou descontínua influenciando diretamente nos resultados.

Por exemplo, em uma fábrica de automóveis os sistemas de movimentação são muito importantes, pois mover os produtos rapidamente através das operações internas minimiza o tempo entre o pagamento dos materiais e o recebimento da receita de vendas de seus produtos, acelerando o retorno financeiro (LANGUI, 2001).

Quando se busca uma redução de custos em um processo produtivo, um dos fatores importantes é o encurtamento das distâncias percorridas tanto pela matéria-prima quanto pelo produto final processado, podendo ser realizado através de um sistema eficiente de movimentação (TAMASAUKAS, 2000). Para Langui (2001), uma análise dos sistemas e métodos para a movimentação e armazenagem em uma empresa influencia diretamente sua estrutura de custos, além de interferir positivamente nos índices de segurança dos estabelecimentos.

Neste contexto, as instalações de transporte e movimentação são selecionadas de modo a corresponderem ao fluxo de materiais que representam o sistema geral de movimento de matéria-prima, artigos semiacabados e produtos no departamento ou fábrica (RUDENKO, 1976).

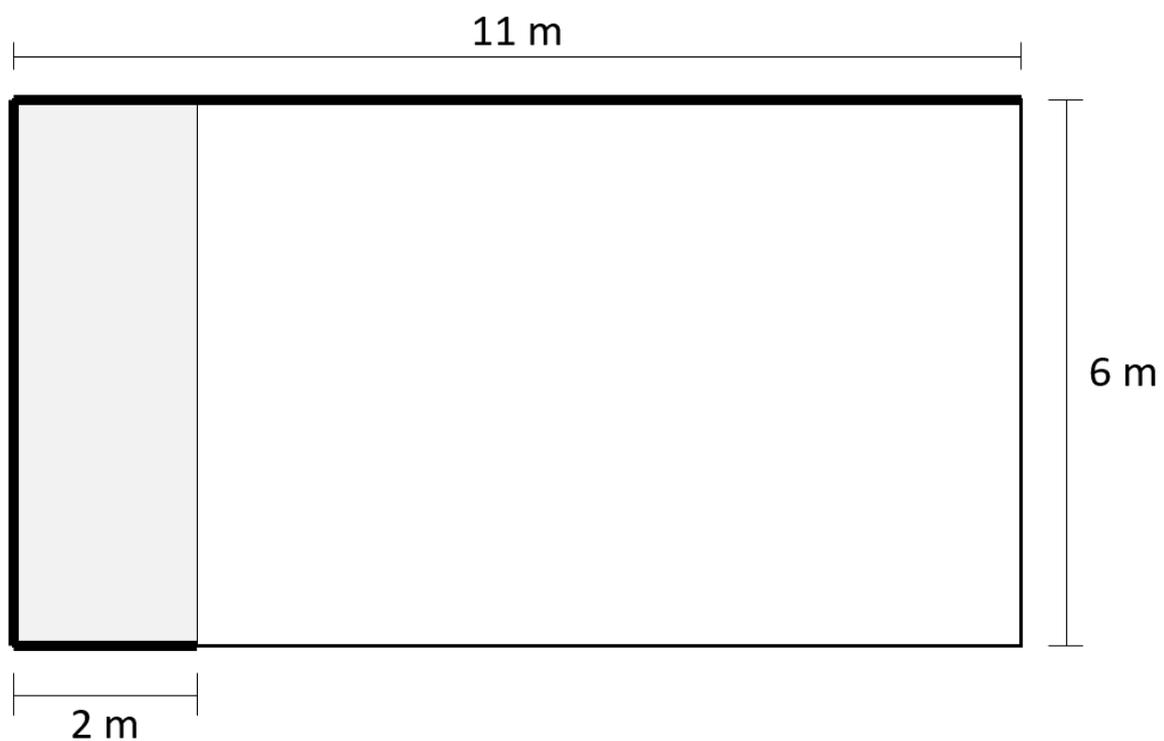
O trabalho aqui declarado posta-se frente a um problema de movimentação de cargas em pátio aberto ao lado da estrutura predial do Instituto de Redes Inteligentes (INRI) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). As Figura 1 e Figura 2 apresentam respectivamente fotografia e croqui do espaço para o qual o projeto é destinado, nota-se que a área de trabalho considerada é a fundação de cimento imediatamente ligada ao prédio.

Figura 1 - Foto do local de destino do projeto.



Fonte: (AUTOR, 2020).

Figura 2 - Croqui da área com fundação para trabalho.



Fonte: (AUTOR, 2020).

São analisadas possíveis máquinas para permitir o içamento de transformadores elétricos que passarão por procedimentos de ensaios, um dos serviços prestados pelo INRI. Conforme Passos (2011), a técnica de movimentação de cargas compreende as operações de elevação, transporte e descarga de objetos manualmente ou utilizando sistemas mecânicos. Os sistemas de movimentação de cargas incluem no seu grupo os aparelhos e dispositivos que elevam e movimentam cargas cujas massas estão compreendidas pelos limites das suas capacidades nominais, nesse caso considera-se o limite de 10 toneladas em trabalho.

Desta forma, possibilita-se elevar a eficiência de um ambiente de trabalho, ou ainda, permitir a realização de atividades anteriormente impossíveis. Através desta motivação, o presente trabalho busca apresentar uma solução para uma demanda específica do INRI – realizar carga e descarga de transformadores da carroceria de caminhões.

1.1 OBJETIVOS

Os objetivos determinados para a elaboração deste trabalho têm o papel de direcionar as atividades a serem realizadas com o princípio de manter fidelidade ao tema proposto, ou de minimizar a possibilidade de que os resultados não sejam compatíveis com o esperado, havendo qualquer divergência ao tópico. Inicialmente, um objetivo geral será determinado, e posteriormente, objetivos mais específicos são definidos.

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver o projeto de um pórtico rolante, de modo que este produto tenha capacidade de carga de 10 (dez) toneladas e possa ser usado nas dependências do INRI para içamento de transformadores de maneira eficiente e segura.

1.1.2 Objetivos Específicos

Para possibilitar que o objetivo geral seja alcançado são definidos alguns objetivos específicos, os quais são apresentados a seguir:

- Realizar a revisão bibliográfica sobre os conceitos envolvidos na elaboração do projeto;

- Efetuar pesquisa sobre sistemas de movimentação e transporte já existentes, tendo enfoque nos pórticos rolantes e suas formas construtivas;
- Determinar e classificar os requisitos de cliente e de projeto;
- Elaborar concepções que atendam aos requisitos de cliente e de projeto levantados;
- Avaliar a árvore de funções e determinar a configuração final do pórtico rolante;
- Realizar os cálculos da estrutura conforme normas vigentes;
- Elaborar a lista de materiais e a lista de componentes a serem utilizados na configuração final do produto;
- Modelar digitalmente a estrutura do pórtico rolante;
- Desenvolver os desenhos técnicos 2D dos componentes do projeto, o manual de fabricação e o manual de montagem do pórtico rolante.

1.2 DESCRIÇÃO DOS CAPÍTULOS

O presente trabalho apresenta-se estruturado em 5 (cinco) capítulos principais: introdução; revisão bibliográfica; metodologia; resultados e discussões; conclusões.

O CAPÍTULO 1 (introdução) tem por objetivo introduzir o assunto do trabalho e realizar a contextualização da proposta de trabalho dentro do tema. Além disto, são apresentados os objetivos específicos e o objetivo geral.

Ainda, no CAPÍTULO 2 (revisão bibliográfica) é realizada a revisão da literatura com os conceitos básicos que são utilizados ao longo do trabalho. Dentre estes, foram levantados conceitos sobre máquinas de elevação e transporte de forma geral, pórticos rolantes, talhas e troles. Além disso, é feita uma análise dos trabalhos de pesquisa vigentes ao tópico e dos pórticos rolantes existentes no mercado, bem como verificações de patentes.

Posteriormente, no CAPÍTULO 3 (metodologia) a metodologia de projeto é apresentada, baseada em conceitos da disciplina de Metodologia de Projeto de Produto, esta é a base para guiar o desenvolvimento das etapas do trabalho.

Por meio desta, o CAPÍTULO 4 (resultados e discussões) a metodologia de projeto tem seus conceitos aplicados ao desenvolvimento do pórtico rolante, gerando resultados e discussões a partir das etapas de projeto informacional, conceitual, preliminar e detalhado.

Finalmente, no CAPÍTULO 5 (conclusão), são apresentadas as conclusões obtidas com a realização do projeto e apresentados os pontos passíveis de melhoria. Após todos os capítulos listados, têm-se as referências bibliográficas, anexos e apêndices.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

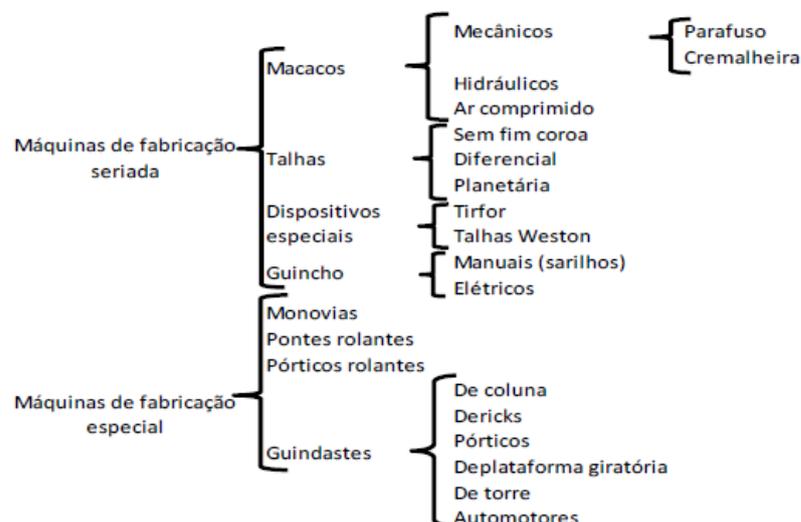
O capítulo atual busca fazer uma revisão sobre as áreas de maior importância para a realização do trabalho, apresenta informações e conceitos básicos relacionados ao projeto em desenvolvimento que ajudarão no entendimento dos demais capítulos. Desta maneira, são dispostas informações quanto à importância de movimentação de cargas, o que são máquinas de elevação e transporte, suas diversas configurações e componentes para funcionamento, ainda são levantados conceitos de escolha de equipamentos e há um detalhamento maior quanto aos pórticos rolantes e suas formas construtivas.

Considerando o escopo deste trabalho, já delimitado anteriormente como sendo o projeto de desenvolvimento de um pórtico rolante, os assuntos deste capítulo são relacionados diretamente a esse equipamento, entretanto também será dada ênfase às pontes rolantes devido ao fato que a distribuição de cargas em ambas é muito semelhante e conseqüentemente compartilham teorias e princípios.

2.1 TIPOS DE MÁQUINAS DE ELEVAÇÃO E TRANSPORTE

Conforme Brasil (1985), estes equipamentos são classificados conforme a finalidade de sua fabricação, onde se pode observar que alguns se enquadram no tipo de fabricação seriada e os demais implicam em projeto especial e específico para finalidade industrial bem característica, conforme a Figura 3.

Figura 3 - Classificação das máquinas de elevação e transporte.



Fonte: (BRASIL, 1985).

Ainda segundo Brasil (1985), máquinas de elevação e transporte podem ser primariamente conceituadas e classificadas conforme segue:

- Macacos – Destinam-se a elevação de cargas a pequenas alturas, com ou sem deslocamento horizontal, a curtas distâncias;
- Talhas – São máquinas constituídas essencialmente por um redutor de velocidade ligado a um tambor e polias de acionamento e suspensão de carga;
- Dispositivos especiais – Tem a mesma finalidade das talhas usando, entretanto, sistemas patenteados de multiplicadores de força;
- Guinchos – Compostos essencialmente de tambor com cabo, freio, redutor, motor e chassi, destinam-se a elevação ou ao arraste de carga a grande altura ou distância;
- Monovias – São talhas dotadas de um sistema de translação sobre a aba inferior de uma viga “I”, motorizadas ou manuais;
- Pontes rolantes – Possuem uma estrutura horizontal em ponte que permite o movimento transversal de um guincho;
- Pórticos rolantes – Diferem das pontes por possuírem estrutura própria e autonomia para sua translação;
- Guindastes – Classifica-se como guindaste qualquer máquina de levantamento dotada de lança. Também nessas máquinas a peça básica é o guincho.

2.1.1 Componentes das máquinas de elevação e transporte

Segundo Rudenko (1976), os principais componentes e partes modulares das máquinas de elevação consistem em:

- Órgãos flexíveis de elevação;
- Polias, sistemas de polias, rodas dentadas para correntes;
- Dispositivos de manuseio da carga;
- Dispositivos de retenção e frenagem;
- Motores;
- Transmissões;
- Componentes de transmissão;
- Trilhos e rodas de translação;
- Estruturas de máquinas;

- Aparelhos de controle.

Para Nassar (2004), durante o desenvolvimento e construção do equipamento é necessária à utilização de componentes disponíveis no mercado, onde o grau de utilização destes pode variar desde a seleção e especificação de elementos de máquina, até a especificação de um equipamento completo, disponível no mercado, que atenda todos os requisitos especificados.

2.2 ESCOLHA DE MÁQUINA DE ELEVAÇÃO TRANSPORTE

As máquinas de elevação e transporte são fabricadas em grande variedade de modelos, por esta razão, as mesmas operações podem ser desempenhadas por vários métodos e aparelhos. Uma escolha adequada dos equipamentos requer além do conhecimento especial do projeto e das características operacionais do mecanismo, a compreensão da organização de produção na empresa (RUDENKO, 1976).

Ainda conforme Rudenko (1976), na escolha dos tipos de aparelhos a serem empregados para mecanizar qualquer processo de elevação e transporte é necessário considerar os seguintes fatores técnicos: Espécie e propriedades da carga a serem manuseadas; Capacidade horária requerida por unidade; Direção e distância do percurso; Características dos processos de produção relacionados com a movimentação de cargas; Condições específicas do local.

A escolha também é influenciada pelas considerações de uma posterior expansão da empresa e período de existência (temporário ou permanente). A partir da verificação destes fatores técnicos e seleção dos possíveis equipamentos estes são comparados do ponto de vista da engenharia e economia (RUDENKO, 1976).

2.3 PÓRTICOS ROLANTES

De acordo com Ribeiro (2011), os pórticos rolantes são equipamentos geralmente utilizados para aplicações em áreas exteriores a edifícios. Os movimentos de translação do carro e do pórtico permitem a locomoção da carga com bastante liberdade. O corpo principal é constituído por pórticos, que dependendo do nível de cargas a movimentar são construídos por perfis laminados ou vigas caixão.

Complementarmente, segundo Düren (2014), o pórtico rolante também pode ser utilizado em ambientes com pouco espaço de movimentação. O equipamento pode substituir o

uso de guindaste e pontes rolantes, devido ao ambiente – galpão ou indústria – não possuir estrutura para a instalação. Os extremos das vigas são fixados por cabeceiras e o produto possui carros que se movimentam através da viga principal. Os pórticos podem-se distinguir em dois tipos, monoviga e biviga.

2.3.1 Componentes de um pórtico rolante

O pórtico rolante é normalmente fabricado com uma arquitetura modular, de forma elementar, considera-se necessariamente composto por um módulo estrutural e um módulo de movimentação. Contudo, ainda pode-se desmembrar essa definição básica em diversos elementos independentes e fundamentais para o funcionamento do pórtico rolante, segundo Bardella, F. *et al* (2019).

Figura 4 - Componentes de um pórtico rolante.



Fonte: (adaptado de WERC, 2018).

Na Figura 4, pode ser observado o destaque numérico aos componentes que desempenham funções essenciais para o funcionamento do equipamento, descritos na sequência:

- Viga principal (1) – é o elemento estrutural que define o vão do pórtico, responsável por servir de ponto de fixação para o sistema de movimentação e resistir principalmente à tensão flexora provocada pela carga;
- Estrutura de sustentação (2) – é o elemento estrutural que define a altura do pórtico, responsável por sustentar a viga principal, garantir estabilidade à estrutura e ainda resistir aos esforços compressivos e de flambagem provocados pela carga;
- Trole (3) – é o elemento de movimentação responsável pelo translado da carga no sentido horizontal, presente na maioria dos pórticos rolantes, pode ser acionado de forma elétrica ou manual;
- Talha (4) – é o elemento de movimentação responsável pelo translado da carga no sentido vertical, presente em todo pórtico rolante, pode ser acionado de forma elétrica ou manual e utilizar de correntes ou cabos de aço para seu funcionamento;
- Moitão (5) – é o elemento responsável por fixar a carga no sistema de movimentação, pode ser associado ao uso de correntes ou cintas de carga e ainda possuir sistema de polias para reduzir a necessidade de torques muito elevados no sistema de movimentação;
- Rodas/rodízios (6) – é o elemento responsável pela movimentação da estrutura do pórtico rolante, caso o mesmo deva ser movimentado, pode ser independente de outros elementos, que garante livre movimentação do pórtico, ou ligado a trilhos, que delimitam a direção de movimentação da estrutura.

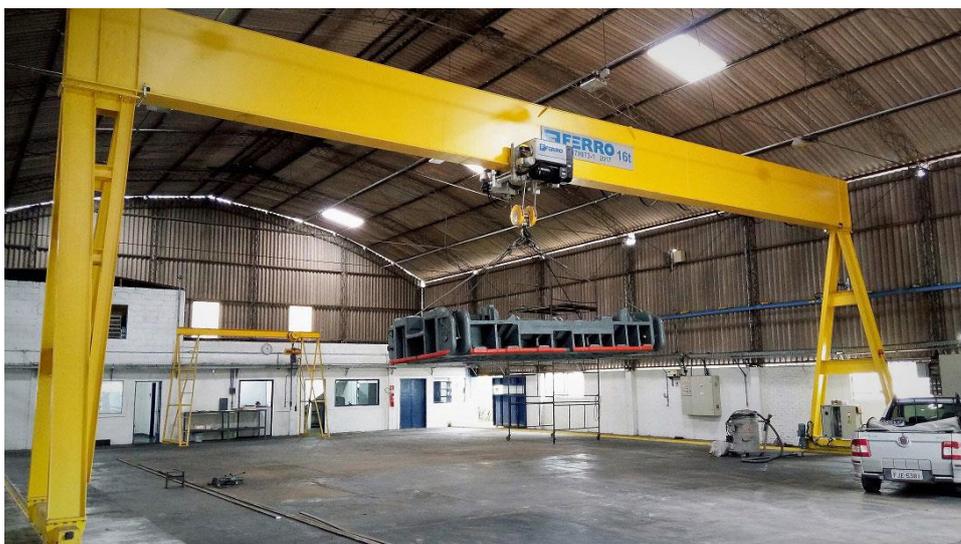
2.3.2 Tipos de pórticos rolantes

Ainda conforme Bardella, F. *et al* (2019), existem três definições principais quando se trata de pórticos rolantes.

2.3.2.1 Monoviga

Pórticos rolantes monoviga, ou univiga, são os que possuem apenas uma viga principal e seu sistema de movimentação é diretamente ligado a ela. Apresentam capacidade de carga moderada, dependendo da forma construtiva, contudo, são utilizados geralmente em galpões industriais, oficinas ou áreas externas de fábricas no levantamento e movimentação de objetos com dimensões medianas, como bobinas metálicas, por exemplo. A Figura 5 exibe um pórtico com esse modelo construtivo.

Figura 5 - Pórtico rolante monoviga.



Fonte: (FERRO, 2020b).

2.3.2.2 Biviga

Pórticos rolantes biviga, ou dupla viga, são os que possuem duas vigas principais, logo faz-se necessário o emprego de uma viga auxiliar para fixação do sistema de movimentação, esta que translada sobre as vigas principais utilizando de dois ou mais troles. Apresentam capacidade de carga superior, portanto, são utilizados geralmente em grandes instalações industriais ou portos no levantamento e movimentação de objetos com dimensões e massa elevadas, como containers, por exemplo. A Figura 6 apresenta um pórtico com esse modelo construtivo.

Figura 6 - Pórtico rolante biviga.



Fonte: (FERRO, 2020a).

2.3.2.3 Semipórticos rolante

Semipórticos rolantes são os que possuem estrutura de sustentação metálica apenas em uma das extremidades da viga principal, a outra extremidade é sustentada por uma estrutura civil apropriada. Geralmente, apresentam capacidade de carga moderada, semelhante aos pórticos rolantes monoviga, contudo, podem ser construídos com arquitetura biviga normalmente associada à maior capacidade de carga, porém estes modelos não são muito comuns devido às limitações físicas da estrutura civil. São sempre empregados dentro de galpões industriais ou imediatamente ligados a eles no ambiente externo das fábricas. A Figura 7 exibe um pórtico com esse modelo construtivo.

Figura 7 - Semipórtico rolante.



Fonte: (FERRO, 2020c).

2.4 PROJETO DE MÁQUINA

Segundo Generoso (2009), um projeto de máquina surge sempre para satisfazer uma necessidade, seja ela industrial, comercial, para lazer, etc. Surge da habilidade de uma pessoa ou de um grupo, transformando uma ideia em um projeto que possua a capacidade de atender e executar a tarefa desejada.

Em projetos, os recursos pessoais de criatividade, habilidade de comunicação e capacidade de solução de problemas, que compõem o instrumental de um projetista estão entrelaçados com o conhecimento de tecnologia e princípios fundamentais (SHIGLEY, MISCHKE e BUDYNAS, 2005).

Para Kruglianskas (1992), muitas empresas brasileiras desenvolvem seus produtos empiricamente, utilizando um sistema de informações deficiente que, muitas vezes, repete os mesmos erros de projeto. Aqui reside o grande problema dessa conjuntura toda que se criou. Por vezes, essas falhas acontecem quando da utilização do produto e, pior ainda, têm como consequência, incidentes ou mesmo acidentes.

Ainda, segundo Shigley, Mischke e Budynas (2005), projetar consiste tanto em formular um plano para a satisfação de uma necessidade específica quanto em solucionar um problema. Se tal plano resultar na criação de algo tendo uma realidade física, então o produto deverá ser funcional, seguro, confiável, competitivo, utilizável, manufaturável e mercável.

Por fim, é importante a adoção de uma metodologia de projeto, o trabalho utiliza de uma baseada na apresentada por Romano (2013), da qual são seguidas as fases de projeto informacional, conceitual, preliminar e detalhado, todas estas fazem parte da macrofase de projeção e é melhor descritas nas subseções seguintes deste trabalho. De forma complementar, também são abordados conceitos dos modelos metodológicos de Pahl *et al.* (2005) e Baxter (2011).

2.4.1 Projeto informacional

A fase de projeto informacional de um produto busca como resultado principal as especificações de projeto, as quais servem como base para iniciar a fase seguinte da etapa de projeção. Contudo, para atingir tal resultado é necessário primeiramente realizar estudos e pesquisas acerca do tema no qual o trabalho é desenvolvido e assim realizar a aquisição de alguns conhecimentos (ROMANO, 2013).

Entre tarefas do projeto informacional destaca-se a identificação das necessidades do cliente, considera-se uma etapa muito importante visto que a partir destas podem-se definir quais características que o produto deve ou não possuir bem como sua finalidade funcional. Posteriormente, as necessidades precisam ser transformadas em requisitos de cliente, que são as características que o produto deve possuir. Ainda, os requisitos de cliente podem ser subdivididos em requisitos básicos, técnicos e de atratividade (PAHL *et al.*, 2005), sendo que:

- Requisitos básicos: são requisitos ditos implícitos, ou seja, não são expressos diretamente pelo cliente, pois são considerados óbvios e vitais. Porém, a definição destes pode se tornar um desafio já que os mesmos decidem quanto ao sucesso ou fracasso de um produto.
- Requisitos técnicos: são requisitos explícitos, ou seja, expressos pelo cliente de forma clara e precisa. Estes requisitos apresentam-se como parâmetros concretos cuja valoração é determinada pelos próprios clientes.
- Requisitos de atratividade: estes requisitos também são tratados como implícitos, embora que frequentemente os clientes não percebam, estes se apresentam como diferenciais na comparação entre dois produtos concorrentes. Entretanto, mesmo sendo interessantes para os clientes, sua maioria não está disposta a pagar mais caro por eles, logo, devem ser considerados se não influenciarem diretamente nos custos.

Por conseguinte, é necessária a valorização e hierarquização dos requisitos de cliente a fim de identificar quais são imprescindíveis para o produto. Segundo Romano (2013), esta valoração dos requisitos é realizada para que durante a fase seguinte não seja despendido tempo e esforço na geração de concepções que tenham como foco os requisitos de pequena importância.

Para esta hierarquização faz-se necessário o uso de algumas ferramentas de análise, como Diagrama de Mudge e Matriz QFD, a partir destas, a mensuração segue critérios sólidos e podem-se elaborar as especificações de projeto, pilar inicial para fase consecutiva.

2.4.2 Projeto conceitual

O projeto conceitual parte dos requisitos levantados na fase de projeto informacional para a criação de concepções que por sua vez são ponderadas para obtenção do objetivo da etapa, a concepção final do produto, conforme Romano (2013). Neste contexto, é necessário realizar uma espécie de abstração para identificação dos problemas essenciais referentes ao

projeto do produto e então ser possível de visualizar, mas sem relacionar a um caso particular de solução, a função global do produto (PAHL *et al.*, 2005).

Ainda segundo Pahl *et al.*, 2005, tendo definida a função global, agora faz-se necessária a decomposição desta em funções mais simples e parciais, até alcançar o nível de funções elementares. O grau de decomposição da função global varia, dentre outros fatores, com relação ao nível de inovação do projeto. A função global, as funções parciais e as funções elementares, independentemente do número de decomposições, podem ser representadas na forma de estrutura ou árvore funcional.

Por conseguinte, a árvore de funções dá origem à elaboração de uma matriz morfológica que tem como objetivo apresentar, para cada uma das funções elementares identificadas, diferentes princípios de solução. Por sua vez, estes são combinados e se faz possível a criação de diversas concepções para o produto. Conforme Romano (2013), estas concepções são então avaliadas para elencar qual delas melhor atende as necessidades impostas através dos requisitos do projeto informacional e defini-la como concepção final do produto.

2.4.3 Projeto preliminar

A fase de projeto preliminar destina-se ao estabelecimento do leiaute final da máquina e à determinação da viabilidade econômica (ROMANO, 2003). Contudo, diversas tarefas são realizadas, envolvendo a identificação das especificações de projeto que relacionam os requisitos de forma (dimensões), leiaute (posição), material, segurança, ergonomia e manufatura.

O projeto preliminar inicia a partir de informações vindas das fases precedentes, como a estrutura de funções e os princípios de soluções advindos da fase de projeto conceitual, ou seja, faz-se necessária a concepção do produto, informações de gerenciamento e controle, requisitos e especificações de projeto, e outros documentos que possam ser pertinentes. Em suma, pode-se dizer que o preceito desta fase é a concepção do produto e, segundo Pahl *et al.* (2005), sua importância está no fato de envolver informações e decisões de projeto simultaneamente, bem como a repercussão dessas decisões em outras áreas.

Por vezes, esta fase pode ser bastante flexível no contexto de suas tarefas, visto que sua função é diretamente ligada a preparar a projeção do produto para a fase detalhada, como existem projetos em diferentes ambientes, estas atividades de suporte podem variar. Para Romano (2013), por exemplo, faz-se necessária a determinação de leiautes alternativos, do estabelecimento das principais dimensões dos componentes, do tipo de material, dos processos

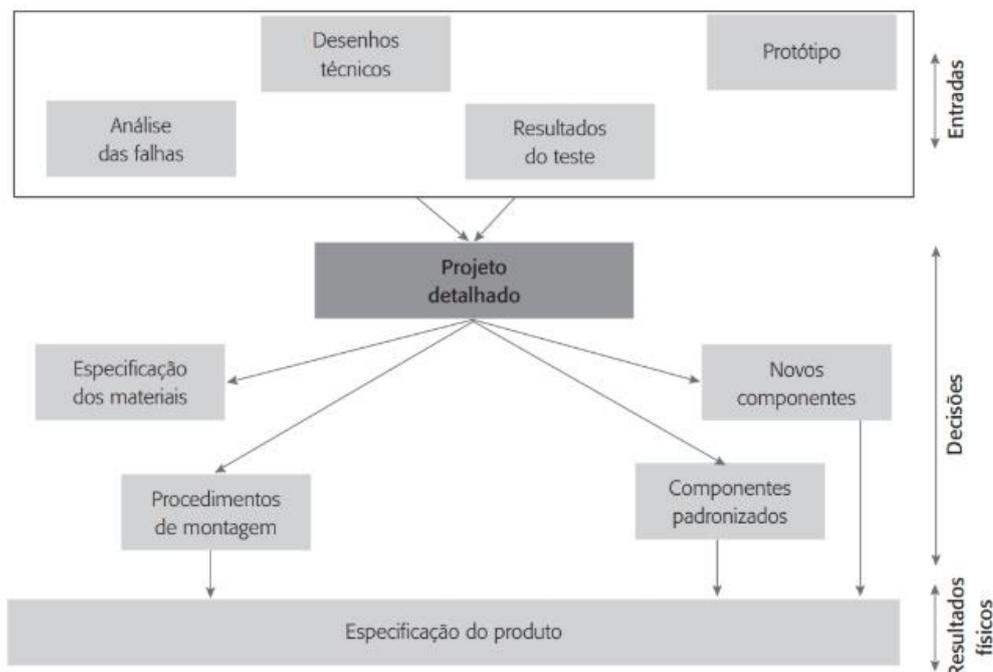
de fabricação, das tolerâncias, a realização de clínicas com mock-ups para confirmar o atendimento dos leiautes alternativo, entre outros.

2.4.4 Projeto detalhado

O projeto detalhado é responsável basicamente pela finalização do processo de projeção e encaminhamento da documentação para a produção. Segundo Pahl *et al.* (2005), a realização de atividades como finalização de detalhes, desenhos técnicos detalhados, lista de partes, documentos de manufatura e de montagem, instruções de operação e revisões do projeto é de vital importância para a transição para a fase de fabricação.

Nessa fase fica claro o grande esforço técnico e criterioso de engenheiros e projetistas que, cada vez mais, são auxiliados por diferentes softwares como, por exemplo, os sistemas de desenho assistido por computador (Computer Aided Design – CAD) que incorporam muitas atividades dessa fase. Contudo, tem-se também nessas atividades, o envolvimento de conhecimentos e técnicas práticas que podem e devem ser desdobrados e formalizados, a fim de concretizar uma base de conhecimento explícito sobre o desenvolvimento do produto (BAXTER, 2011). Pode-se observar na Figura 8 que as tarefas são divididas em agrupamentos de atividades separadas, não definindo uma sequência obrigatória de realização para as mesmas, nem explicitando o conteúdo das atividades envolvidas, somente trazendo a sua importância para a definição do projeto.

Figura 8 - Entradas e resultados do projeto detalhado.



Fonte: (BAXTER, 2011).

Por outro lado, Baxter (2011) menciona que as atividades deverão ser realizadas conforme as necessidades e o ambiente de desenvolvimento do produto, sendo que essas concorrem para um mesmo fim: gerar, como saída, as especificações do produto que, para o autor, são as informações finais de projeto para o encaminhamento à fabricação.

De forma complementar, segundo Romano (2003), esta etapa destina-se a vários propósitos: aprovação do protótipo; finalização das especificações dos componentes; detalhamento do plano de manufatura; preparação da solicitação de investimento.

2.5 NORMAS TÉCNICAS RELACIONADAS AO PROJETO

Normas técnicas são vitais para realização de qualquer projeto de equipamentos, por relacionarem conceitos teóricos e experimentais para garantir qualidade e segurança. Logo, faz-se necessária realização de uma pesquisa sobre as normas técnicas relacionadas aos pórticos rolantes.

A partir da pesquisa das normas relacionadas aos pórticos rolantes, obteve-se como resultado a ABNT NBR 8400: Cálculo de equipamento para levantamento e movimentação de cargas, sendo esta a base do memorial posteriormente descrito. A norma tem como objetivo especificar as formas de cálculo e os requisitos que devem ser utilizados para cada situação

problema. Nela estão expostas situações de carga, análises ambientais, coeficientes de segurança, entre outras informações.

De forma complementar, também foram considerados aspectos da ABNT NBR 8800: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios, para verificações não previstas na norma anterior. Entretanto, vale-se ressaltar que para casos de divergência prevalece a NBR 8400, mais específica aos assuntos pertinentes do trabalho.

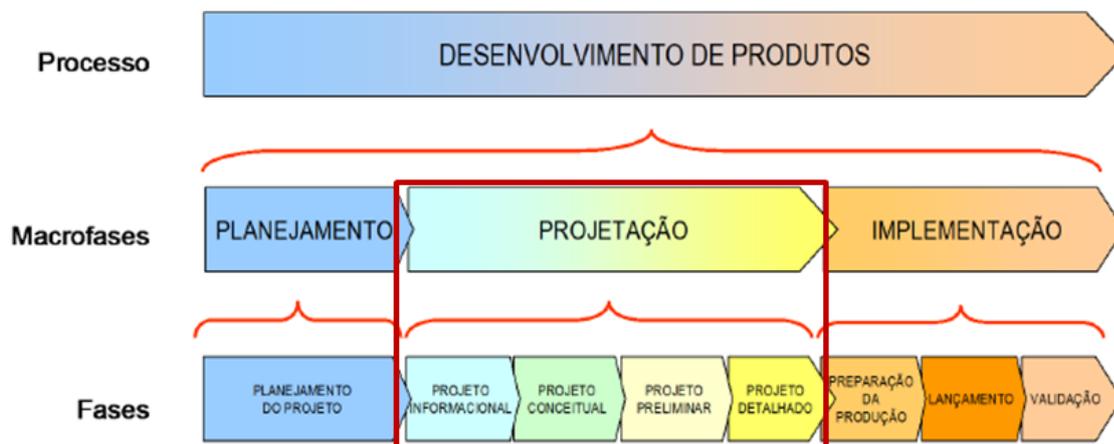
Também foram analisados trabalhos baseados nas normas da *Federation Europeenne De La Manutention*, mais precisamente *F.E.M 1.001 3rd Editon - 1998 "Rules for the design of hoisting appliances"*, contudo, sua metodologia de cálculo foi desconsiderada por não ser vigente no Brasil.

Ainda foram verificadas outras normas de relação indireta ao objetivo do trabalho, mesmo não consideradas na etapa de cálculos, ainda representam conhecimentos pertinentes para seleção de equipamentos complementares ao pórtico rolante ou auxílio na definição de documentos nas etapas finais de projeto, tais como, ABNT NBR ISO 2408 – Cabos de aço para uso geral – Requisitos mínimos; ABNT NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações; ABNT NBR 9967 – Talhas com acionamento motorizado – Classificação.

3. METODOLOGIA

Aderir a uma metodologia sólida e conhecê-la profundamente representa um aspecto importante em um processo de desenvolvimento de projeto, por meio dela podem-se visualizar de forma clara quais atividades precisam ser realizadas e ainda estabelecer um cronograma com as mesmas em relação ao projeto, evitando dar início a determinadas tarefas de forma precipitada ou esquecer-se da realização de alguma outra. A Figura 9 apresenta as macrofases e as respectivas fases do processo de desenvolvimento de produtos da metodologia abordada, as fases e macrofases abordadas no presente trabalho estão destacadas pelo quadrante vermelho.

Figura 9 - Processo de desenvolvimento de produtos.

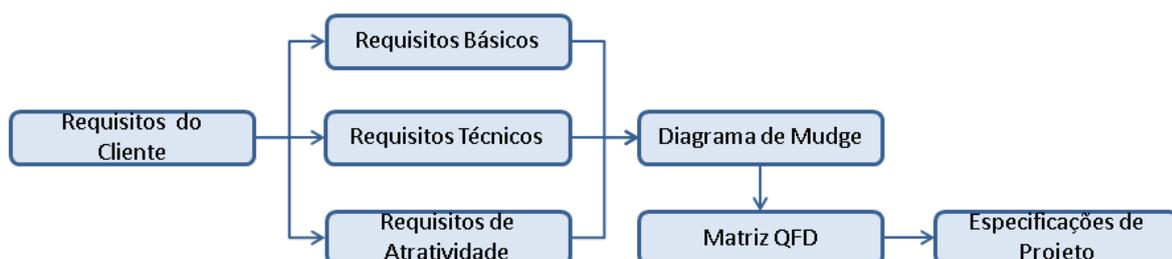


Fonte: (Adaptado de: ROMANO, 2013).

3.1 PROJETO INFORMACIONAL

Para este trabalho, as tarefas referentes ao projeto informacional são apresentadas em fluxograma na Figura 10.

Figura 10 - Fluxograma das etapas da fase de projeto informacional.



Fonte: (AUTOR, 2020).

O início do projeto informacional costuma ser feito através da análise dos produtos existentes no mercado. Essa etapa é de extrema importância, pois pode auxiliar na definição de alguns requisitos de clientes e especificações de projeto que seriam desconhecidos até o momento ou apresentariam a necessidade de realizar um estudo bastante aprofundado. Desta forma, podem-se absorver diversas informações quanto às formas construtivas e passivos princípios de solução que auxiliaram na construção de um tópico da secção seguinte.

Outro ponto importante que marca a fase inicial de projeto informacional dá-se pela definição dos requisitos de cliente que devem ser estabelecidos baseando-se nas vontades ou necessidades expressas por estes, neste estudo acadêmico essa análise é feita de forma quantitativa. Tendo definido os requisitos de cliente a partir das necessidades levantadas, pôde-se realizar a descrição básica dos mesmos e ainda classificá-los em uma subdivisão que consiste em requisitos básicos, técnicos e de atratividade.

Cabe agora identificar desses requisitos são mais importantes, neste trabalho optou-se pela aplicação do método denominado Diagrama de Mudge, onde todos os requisitos de clientes que foram estabelecidos podem ser relacionados par a par, até que todas as possíveis combinações de requisitos tenham sido formadas e analisadas, com intuito de definir uma lista ordinária de prioridades. Com esse método os níveis de relevância entre os requisitos analisados são determinados em relação aos graus de relevância A, B e C. Onde o grau A refere-se à relação de um requisito pouco mais importante que outro, o qual recebe 1 ponto. Contudo, o grau B representa a relação de um requisito medianamente mais importante que outro, este recebe 3 pontos. Por fim, o grau C refere-se a um requisito que é muito mais importante que outro, o qual recebe 5 pontos.

Findadas as comparações dos pares, realiza-se o somatório da pontuação vigente a cada requisito em uma primeira coluna auxiliar, a seguir, faz-se uma análise percentual da pontuação de cada requisito em relação ao montante total de pontos, disposta em uma segunda coluna auxiliar, e por fim, quando as ponderações e avaliações estiverem terminadas, pode-se indicar a importância de cada requisito em relação ao projeto e estabelecer determinadas prioridades.

Por conseguinte, define-se os requisitos de projeto a partir dos requisitos de cliente levantados anteriormente, visando satisfazê-los. Estes também devem ser então ser hierarquizados. Neste trabalho optou-se pela utilização do método QFD (*Quality Function Deployment*), método que foi desenvolvido durante a década de 1970 no Japão, e pode ser definido como sendo uma ferramenta da qualidade que auxilia os projetistas no trabalho em equipe por meio da busca pelo consenso nas diferentes definições sobre o produto,

possibilitando além de outras funções, o estabelecimento de relações entre as necessidades dos clientes e os requisitos de projeto (ROZENFELD *et al.*, 2006).

Na forma estrutural abordada, as vontades ou necessidades dos clientes e os respectivos requisitos de cliente são colocados parte esquerda do diagrama, dispostos na horizontal. Por sua vez, os requisitos de projeto são colocados na parte superior do diagrama dispostos na vertical. No centro do diagrama estrutura-se matriz de relações, onde são avaliadas as relações existentes entre os requisitos de cliente e os requisitos de projeto, classificando-as em forte (5 pontos), mediana (3 pontos), fraca (1 ponto). Além disso, as células de intersecção dos requisitos que não apresentam relação significativa entre si permanecem em branco não acarretando pontuação tão pouco influenciando em posteriores análises. Por fim, na parte direita da matriz está localizada a valoração dos requisitos de cliente.

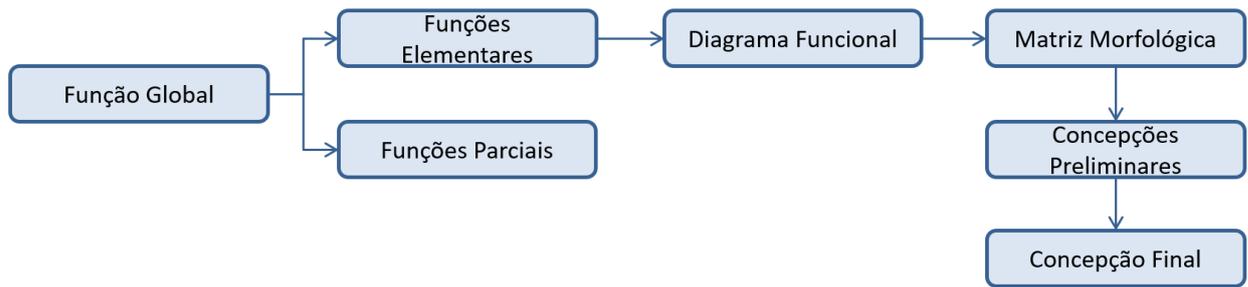
Realizadas todas as avaliações das relações existentes entre os requisitos de cliente e de produto, multiplicam-se os pesos iniciais de cada requisito de cliente e os pontos adquiridos através da relação dos requisitos. Neste estágio, na parte inferior da matriz dispõe-se o somatório dos produtos referentes a cada requisito de projeto, com estes dados pode-se então hierarquizar os requisitos, podendo definir quais são prioridades e quais recebem menos atenção ou talvez possam ser desconsiderados.

Finalmente, a partir dos resultados obtidos da qualificação dos requisitos de cliente e de projeto, podem-se levantar as especificações de projeto. Estas devem conter informações diretas, completas e preferencialmente métricas, a fim de atender ao máximo os requisitos anteriormente citados, concentrando esforços nos identificados como de maior relevância. As especificações consistem em estipular metas que direcionem o desenvolvimento do produto para as necessidades determinadas.

3.2 PROJETO CONCEITUAL

O projeto conceitual é a fase onde ocorre a concepção do produto, por meio da busca, criação, representação e seleção de soluções. As etapas desse processo são apresentadas no fluxograma da Figura 11.

Figura 11 - Fluxograma das etapas da fase de projeto conceitual.



Fonte: (AUTOR, 2020).

O processo de identificação das funções do projeto de desenvolvimento de produto é realizado baseando-se nos requisitos de cliente e de projeto determinados na secção anterior. Neste trabalho, as funções foram classificadas em três tipos: função global, funções parciais e funções elementares. Conforme Baxter (2011), uma maneira muito eficiente de descrever as funções citadas é através da combinação de um verbo no infinitivo com um substantivo, dando a ideia de uma ação realizada por um sujeito oculto.

Também é indicada, para determinação da função global, a construção de um diagrama de blocos constituindo uma inter-relação das variáveis de entrada e saída da fronteira do sistema (PAHL et al., 2005). Segundo Baxter (2011), deve-se pensar em qual a razão pela qual o produto existe, geralmente, esta é a função global.

A partir da função global é possível levantar todas as demais funções intrínsecas necessárias para a sua satisfação, classificadas como funções parciais ou funções elementares. Funções parciais podem ser descritas como um desmembramento da função global em funções mais específicas, detalhadas e objetivas, que ainda podem sofrer outra derivação posteriormente. Por sua vez, funções elementares são resultantes desta derivação de funções parciais, apresentam-se ainda mais detalhadas e comumente representam o desempenho de uma ação específica.

A realização deste processo de desdobramento contínuo, aparentemente trabalhoso, justifica-se porque a partir das funções elementares pode-se simplificar o processo de projeção, demonstrando exatamente quais funções, sendo atendidas, garantem a satisfação da função global. A metodologia auxilia a conectar detalhes individuais com o todo do projeto, facilitando o desenvolvimento de soluções que venham a atender todos os requisitos previamente levantados.

Dando continuidade, o diagrama funcional, também conhecido como estrutura funcional, tem por objetivo organizar todas as funções em um esboço visual que contenha os

desmembramentos adotados, facilitando a visualização das partes correlacionadas. Para esse entendimento, durante a leitura e interpretação do diagrama busca-se sempre o encontro de respostas quanto à forma e o porquê determinada função se relaciona com o projeto, conforme citado por Baxter (2011).

Ainda segundo o autor, para construção do diagrama funcional de forma eficiente deve-se, partindo da função global para as funções parciais ou elementares, pergunta-se “*como?*”, isto é, de que forma as funções menos complexas representam soluções para as funções mais complexas. De forma análoga, ao fazer a leitura do diagrama no sentido contrário, ou seja, partindo das funções elementares para as funções mais complexas, a pergunta a ser realizada é “*por quê?*”, desta forma, apresentando motivo pelo qual as funções de maior complexidade apresentam-se como justificativa da existência das funções de menor complexidade.

Sequencialmente, na construção da matriz morfológica procura-se sistematizar as diferentes combinações de elementos ou parâmetros com o objetivo de encontrar uma solução global para o problema: listando as funções do produto, os possíveis meios princípios de solução para cada função, finalmente, representando visualmente as funções e os princípios de solução para explorar as combinações. A busca pelos princípios de solução para cada uma das funções elementares apresentadas no diagrama funcional do produto pode ser feita através de métodos convencionais ou intuitivos, segundo Pahl et al. (2005). Os métodos convencionais, geralmente são acompanhados da pesquisa de soluções existentes, enquanto os métodos intuitivos refletem a criação de novos conceitos ou novos estudos científicos. No contexto do presente trabalho é abordado o método convencional.

Então, é realizada a combinação desses princípios de solução, formando desta maneira, concepções preliminares, leiautes que possibilitam o atendimento de diversas funções levantadas previamente. As concepções geradas para o projeto são avaliadas quanto ao atendimento dos requisitos de cliente e dos requisitos de projeto, a partir disso, pode-se eleger qual delas demonstra-se mais adequada. Para esse processo é feita uma matriz de avaliação, elaborada baseando-se nos requisitos de cliente, e uma matriz decisão, feita baseando-se nos requisitos de projeto.

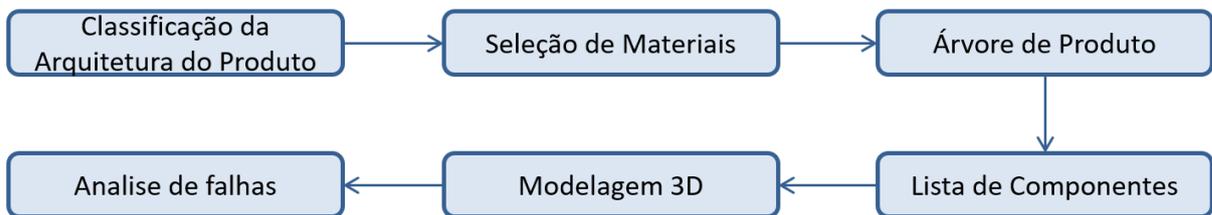
Nessas matrizes os requisitos são dispostos na primeira coluna, seguidos da pontuação de cada um desses referentes ao Diagrama de Mudge e à matriz QFD. A seguir é disposta uma pontuação que avalia o grau de relação da concepção com os requisitos, onde o grau 1 representa que o requisito é atendido de forma insatisfatória, o grau 3 indica que o requisito é atendido de forma razoável e o grau 5 demonstra que o requisito é atendido de forma satisfatória. As pontuações referentes aos métodos construtivos anteriores são multiplicadas à essas pontuações

que avaliam pontuação e, ao fim, a concepção que apresentar maiores somatórios é escolhida, em casos de divergência prioriza-se o resultado da matriz de decisão.

3.3 PROJETO PRELIMINAR

Esta fase do projeto é uma das mais importantes por definir o mesmo em sua forma física. Para tal, foram definidas as seguintes tarefas, apresentadas em forma de fluxograma na Figura 12.

Figura 12 - Fluxograma das etapas da fase de projeto preliminar.



Fonte: (AUTOR, 2020).

O produto é definido a partir de sua arquitetura, dentro das categorias modular e integrada. Desta forma permite-se avaliar a possibilidade de alteração de determinados princípios de solução e validar a concepção escolhida na fase anterior.

Após definidos os princípios de solução adotados, ainda se faz necessário definir especificadamente os materiais incorporados ao projeto. Trata-se de equacionamento teórico de todos os fatores relacionados às propriedades dos materiais ligadas à função que devem executar. A partir dessa definição compõem-se a lista de materiais do projeto, englobando quantidade e custo.

Esta seção funciona como informação de entrada para as demais etapas do projeto preliminar. É muito importante pois a partir daqui é possível ter um primeiro valor mais preciso sobre o custo do projeto, ao menos dos investimentos físicos.

Na sequência, constrói-se a árvore de produto, trata-se de uma expressão utilizada para designar uma estrutura que mostra os níveis relevantes de agregação de determinada categoria de tipos de produtos. Segundo alguns autores é até uma forma de hierarquização, contudo, busca-se reproduzir a estrutura do produto com todos os seus grupos, subconjuntos e peças correlacionados de forma gráfica clara e objetiva.

Quanto a lista de componentes, diferente da lista de materiais, a mesma busca apresentar exatamente quais componentes fazem parte do projeto, apresentando inclusive um código de projeto para cada uma das peças e para os subconjuntos e grupos respectivos.

A modelagem dos componentes em software CAD é uma etapa essencial para o projeto, a partir dela pode-se observar o resultado do produto ainda antes de sua fabricação. Também é primordial por constituir os arquivos base para a documentação de projeto detalhado, desde desenhos técnicos a eventuais simulações. Para realizar a modelagem do pórtico rolante utilizou-se do software *SolidWorks*, amplamente atribuído como ferramenta de desenho para projetos mecânicos.

O dimensionamento da estrutura é baseado principalmente nas considerações da NBR 8400: Cálculo de equipamentos para levantamento e movimentação de cargas. A norma engloba classificação e cálculo de diversas máquinas de elevação e transporte. Para considerações elementares de mecânica dos sólidos e resistência dos materiais é utilizado majoritariamente o livro *Resistência dos Materiais* (HIBBELER, 2004) como base teórica. Também são avaliados trabalhos outros trabalhos de dimensionamento como *Dimensionamento de um Pórtico Rolante* (RIBEIRO, 2011) e *Dimensionamento estrutural de um pórtico rolante para levantamento de cargas de até 10 toneladas* (LORENZI, 2018), que por sua vez, apresentam métodos de cálculo muito semelhantes ou iguais dependendo da observação.

3.4 PROJETO DETALHADO

De forma análoga as fases anteriores, também se atribui um fluxograma para a etapa de projeto detalhado, baseado diretamente nas necessidades mais urgentes relacionadas ao ambiente de fabricação do projeto. Pode-se observar o mesmo na Figura 13.

Figura 13 - Fluxograma das etapas da fase de projeto detalhado.



Fonte: (AUTOR, 2020).

Para realização da análise numérica faz-se novos modelos simplificados utilizando do software *PTC CREO 5.0*, e suas ferramentas CAE, “*Computer Aided Engineering*”.

Sequencialmente têm-se criação dos desenhos técnicos, uma das etapas documentais de projeto mais importantes dentro da macrofase de projeção, a principal se considerarmos escala

produtiva. Esta seção, contudo, é bastante dependente dos arquivos gerados no momento de modelagem, sendo que para tal, a partir de necessidades reconhecidas no detalhamento técnico, podem haver sutis alterações na modelagem. Desta forma, essa fase também funciona como agente de correção a considerações não previstas. No presente trabalho, de forma análoga à etapa de modelagem, utiliza-se o software *SolidWorks* para criação da documentação de desenhos técnicos.

Posteriormente são feitas as orientações de manufatura, tópico tem por objetivo ser um agente facilitador do processo de montagem, trazendo considerações do autor à aspectos não explícitos nos documentos até aqui gerados.

Por fim, as considerações de montagem visam orientar qual a ordem de ações deve ser realizada para otimizar o processo de montagem, além de oferecer instruções para cada uma dessas etapas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados obtidos através da aplicação da metodologia escolhida para o desenvolvimento do pórtico rolante.

4.1 PROJETO INFORMACIONAL

As atividades desta seção foram divididas em análise de produtos disponíveis no mercado, definição dos requisitos de cliente e posterior na classificação destes em requisitos básicos, técnicos ou de atratividade, definição dos requisitos de projeto, avaliação destes requisitos e identificação dos mais importantes para, consecutivamente, definir as especificações do projeto.

4.1.1 Análise dos produtos existentes no mercado

Para realização da análise, foram verificados através de buscas com fornecedores pórticos rolantes e também componentes individuais (talhas e troles) que pudessem atender ao objetivo geral ou facilitassem seu alcance de alguma forma. Todos os produtos constatados receberam classificações em diversas categorias que delimitavam funções, arquitetura modular ou características mais específicas. A análise dos produtos pode ser observada nos Quadro 1 e Quadro 2.

Quadro 1 – Análise de pórticos existentes.

(continua)

Empresa	Modelo	Arquitetura	Capacidade	Estrutura	Uniãoes	Movimentação
CSM	Univiga	Modular	Até 15 Ton	Perfil U	Parafusadas	Trilho/rodízios
CSM	Viga dupla	Modular	Até 15 Ton	Retangular	Parafusadas	Trilhos
CSM	CSM PSPH	Modular	15 Ton	Retangular	Parafusadas	Pneus
Climber	PCM5	Integrada	5 Ton	Tubular Cilíndrico	Soldadas	Rodízios
Climber	Dupla Viga	Modular	10 Ton	Perfil U	Parafusadas	Trilhos
Climber	Univiga	Modular	5 Ton	Tubo Retangular	Parafusadas	Trilhos
Truck	Uni Via	Modular	Até 10 Ton	Perfil U	Parafusada	Trilho/rodízios
Truck	Dupla Via	Modular	Até 15 Ton	Perfil U	Parafusada	Trilhos

Quadro 1 – Análise de pórticos existentes.

(conclusão)

Empresa	Modelo	Arquitetura	Capacidade	Estrutura	Uniões	Movimentação
TCS	Viga Simples	Modular	Até 15 Ton	Retangular	Parafusada	Trilhos
TCS	Viga Dupla	Modular	32 Ton	Retangular	Parafusada	Trilhos

Fonte: (AUTOR, 2020).

Quadro 2 – Análise de talhas e troles existentes.

(continua)

Empresa	Modelo	Produto	Carga	Acionamento	Sistema	Altura útil	Peso
CSM	71000607	Talha	10 Ton	Manual	Corrente	3 m	-
CSM	MVB10000	Talha e trole	10 Ton	Elétrico	Cabo de aço	12 m	1078 kg
CSM	CK10TA3/8	Talha e trole	10 Ton	Elétrico	Cabo de aço	8 m	861 kg
CSM	T10000	Trole	10 Ton	Manual	-	-	-
Terra	708227	Talha	10 Ton	Manual	Corrente	5 m	-
Nagano	NTE215TR	Talha e trole	10 Ton	Elétrico	Cabo de aço	9 m	1042 kg
Polti	P10000	Talha e trole	10 Ton	Elétrico	Cabo de aço	9 m	-
Berg Steel	BSEAW	Talha e trole	10 Ton	Elétrico	Cabo de aço	9 m	-
Berg Steel	BSTHWI	Trole	10 Ton	Mecânico	Corrente	-	-
ACM	TECA	Talha e trole	10 Ton	Elétrico	Cabo de aço	9 m	-
Climber	RC-3504	Talha e trole	10 Ton	Elétrico	Corrente	8 m	946 kg
Climber	CL-1250	Trole	10 Ton	Elétrico	-	-	188 kg
Truck	Standard10	Talha e trole	10 Ton	Elétrico	Cabo de aço	12 m	985 kg
Kito	RESM050S-S	Talha	5 Ton	Elétrico	Corrente	3 m	310 kg
Kito	TWER3M0100S	Talha e trole	10 Ton	Elétrico	Corrente	3 m	-
Kito	SHER3M0100S	Talha	10 Ton	Elétrico	Corrente	3 m	600 kg
Kito	(N)ER050S	Talha	5 Ton	Elétrico	Corrente	6 m	220 kg
Tander	TTE9M10T	Talha e trole	10 Ton	Elétrico	Cabo de aço	9 m	1010 kg
Tander	TTE18M16T	Talha e trole	10 Ton	Elétrico	Cabo de aço	18 m	1160 kg

Fonte: (AUTOR, 2020).

4.1.2 Definição dos requisitos de cliente

Para definir as necessidades do instituto no projeto do pórtico realizaram-se reuniões com os mesmos para levantamento das diversas necessidades consideradas indispensáveis para obter-se ótima funcionalidade do produto. As necessidades expressas para o desenvolvimento desse projeto estão listadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Necessidades dos clientes.

Nº	DESCRIÇÃO
1	Possibilitar o correto funcionamento do içamento de cargas.
2	Ter dimensões compatíveis com caminhões comerciais e o produto a ser movimentado.
3	Ser seguro.
4	Ter baixo custo.
5	Ser compatível com diferentes tipos de sistemas de movimentação.
6	Ser durável.
7	Possibilitar movimentação da estrutura.

Fonte: (AUTOR, 2020).

É válido ressaltar que a numeração utilizada na Tabela 1 e no Quadro 3 são utilizadas apenas para listagem dos itens contidos nestes quadros e não têm nenhuma relação com qualquer ordem de importância, visto que estes detalhes são discutidos em seções posteriores. Contudo, baseando-se na metodologia adotada e observando-se as vontades e necessidades dos clientes, estabeleceram-se os requisitos de cliente conforme apresentados no Quadro 3.

Quadro 3 – Transformação das necessidades dos clientes em requisitos de cliente.

(continua)

Nº	Necessidades dos Clientes	Nº	Requisitos de Cliente
1	Possibilitar o correto funcionamento do içamento de cargas.	1	Oferecer estrutura rígida e estável.
		2	Possibilitar acionamento da talha.
		3	Possibilitar acionamento do trole.
		4	Ter viga dentro das dimensões de troles comerciais.

Quadro 3 – Transformação das necessidades dos clientes em requisitos de cliente.

(conclusão)

Nº	Necessidades dos Clientes	Nº	Requisitos de Cliente
2	Ter dimensões compatíveis com caminhões comerciais e o produto a ser movimentado.	5	Possuir dimensões maiores que a largura de caminhões comerciais.
		6	Possuir altura que permita carga e descarga do maior transformador.
3	Ser seguro.	1	Oferecer estrutura rígida e estável.
		7	Possuir sistema de fim de curso do trole.
		8	Possuir sistema contra quedas abruptas.
		9	Possuir sistema de freios para estrutura.
		10	Não oferecer risco aos operadores.
4	Ter baixo custo.	11	Apresentar elevada eficiência estrutural.
		12	Ter simples manutenção.
		13	Ter processo de fabricação simples.
5	Ser compatível com diferentes tipos de sistemas de movimentação.	4	Ter viga dentro das dimensões de troles comerciais.
		14	Não possibilitar interferências entre estrutura e sistema de movimentação.
		15	Permitir o acoplamento de um número diferente de troles e talhas.
6	Ser durável.	1	Oferecer estrutura rígida e estável.
		16	Permitir acesso para manutenção do sistema de movimentação.
		17	Possuir resistência à corrosão.
		18	Possuir resistência à poeira.
		19	Ter vida útil longa.
7	Possibilitar movimentação da estrutura.	20	Ter dispositivo que auxilie a movimentação do pórtico.
		21	Possuir massa relativamente baixa.

Fonte: (AUTOR, 2020).

Como apresentado no Quadro 3, as necessidades dos clientes de um projeto podem ser satisfeitas por mais de um requisito, tal qual, um único requisito de cliente pode atender diversas necessidades.

Por conseguinte, a descrição e a classificação dos requisitos de cliente são apresentadas no Quadro 4.

Quadro 4 – Descrição e classificação dos requisitos de cliente.

(continua)

Nº	Requisito	Descrição	Classificação
1	Oferecer estrutura rígida e estável.	Ter estrutura que suporte a carga desejada e apresente deformações inferiores às determinadas por norma.	Requisito básico
2	Possibilitar acionamento da talha.	Possibilitar alimentação elétrica e curso vertical mínimo necessários para o correto funcionamento da talha.	Requisito básico
3	Possibilitar acionamento do trole.	Possibilitar alimentação elétrica, trilho de sustentação e curso horizontal mínimo necessários para o correto funcionamento do trole.	Requisito básico
4	Ter viga dentro das dimensões de troles comerciais.	Compor de uma viga com largura de perfil em I que possibilite sustentação do sistema de movimentação de diversos troles comerciais.	Requisito técnico
5	Possuir dimensões maiores que a largura de caminhões comerciais.	Possuir vão com dimensões superiores as dimensões de largura padrão de caminhões comerciais.	Requisito técnico
6	Possuir altura que permita carga e descarga do maior transformador.	Ter altura superior à soma das dimensões de altura padrão de caminhões comerciais e de altura do maior transformador.	Requisito de técnico

Quadro 4 – Descrição e classificação dos requisitos de cliente.

(continuação)

Nº	Requisito	Descrição	Classificação
7	Possuir sistema de fim de curso do trole.	Possuir dispositivos que garantam limites de movimentação seguros do trole ao decorrer da viga.	Requisito técnico
8	Possuir sistema contra quedas abruptas.	Ter dispositivo que garanta sustentação ou frenagem da carga em caso de falhas da talha.	Requisito técnico
9	Possuir sistema de freios para estrutura.	É necessário um sistema de freios que garanta que o pórtico não se movimente em momentos de carga e descarga ou de não utilização.	Requisito básico
10	Não oferecer risco aos operadores.	A estrutura construtiva deve assumir todos os padrões de segurança mencionados em normas vigentes.	Requisito básico
11	Apresentar elevada eficiência estrutural.	O projeto do pórtico deve considerar coeficientes de segurança precisamente alinhados ao mínimo requerido em norma, evitando superdimensionamento.	Requisito técnico
12	Ter simples manutenção.	Apresentar um baixo número de peças, ligações mecânicas simples e procedimentos de manutenção relativamente baratos.	Requisito básico
13	Ter processo de fabricação simples.	Possuir processos fabris que não envolvam alta demanda tecnológica, não apresentem custo elevado e possam ser realizados dentro das dependências da UFSM.	Requisito atratividade
14	Não possibilitar interferências entre estrutura e sistema de movimentação.	Garantir dimensões geométricas que não acarretem em interferência entre a estrutura e as peças móveis do sistema.	Requisito básico

Quadro 4 - Descrição e classificação dos requisitos de cliente.

(conclusão)

Nº	Requisito	Descrição	Classificação
14	Não possibilitar interferências entre estrutura e sistema de movimentação.	Garantir dimensões geométricas que não acarretem em interferência entre a estrutura e as peças móveis do sistema.	Requisito básico
15	Permitir o acoplamento de um número diferente de troles e talhas.	Possuir geometria que permita a instalação de diferentes tipos de sistemas de içamento, garantindo liberdade de escolha ao cliente.	Requisito de atratividade
16	Permitir acesso para manutenção do sistema de movimentação.	Ter geometria que possibilite correta realização de manutenções preventivas e corretivas, não apresentando áreas de difícil acesso à profissionais do ramo.	Requisito básico
17	Possuir resistência à corrosão.	A estrutura deve possuir boa resistência à corrosão devido ao fato de o pórtico rolante estar em um ambiente aberto passível de intempéries.	Requisito técnico
18	Possuir resistência à poeira.	O sistema precisa de boa resistência a poeira, principalmente no que diz respeito a promover fácil deslocamento do trole no decorrer da viga, considerando que o terreno tem alta incidência de partículas.	Requisito técnico
19	Ter vida útil longa.	É necessário que o tempo de vida útil do pórtico seja elevado, superior ao de talhas comerciais, para justificar investimento.	Requisito básico
20	Ter dispositivo que auxilie a movimentação do pórtico.	Apresentar sistema que facilite a movimentação, por força humana, do pórtico rolante, sejam trilhos, roletes ou outros.	Requisito básico
21	Possuir massa relativamente baixa.	É necessário que o pórtico não apresente massa elevada para possibilitar a sua movimentação sem esforço excessivo dos operadores.	Requisito de atratividade

4.1.3 Valoração dos requisitos de cliente

A estrutura da ferramenta de valorização consiste em uma tabela cuja intersecção entre respectivas linhas e colunas do par em questão analisado apresente uma célula indicando qual o mais importante e o quanto este se destaca do outro. Simbolização esta, dada pelo valor numérico que representa os requisitos (1 a 21), seguido pelo grau de relevância correspondente (A, B ou C), como citado no capítulo anterior. O Diagrama de Mudge realizado neste trabalho pode ser observado na Figura 14.

Figura 14 - Diagrama de Mudge para valoração dos requisitos de cliente.

Diagrama de Mudge - Requisitos de Cliente																							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	PONTOS	REL. (%)	
1	1A	1A	1B	1A	1A	1C	1C	1B	10A	1B	1C	1C	1A	1C	1B	1B	1C	1B	1C	1C	63	12,40%	
	2	2A	2A	2A	2A	2C	2A	2A	10A	2B	2C	2C	2A	2C	2B	2B	2C	2A	2C	2C	52	10,24%	
		3	3A	5B	6B	3B	3A	3A	10B	3A	3C	3C	14A	3C	3A	3A	3B	3A	3C	3B	36	7,09%	
			4	4A	4A	4B	4A	4A	10B	4A	4C	4C	14A	4B	4B	4A	4C	4A	4C	4C	41	8,07%	
				5	5A	5B	8A	5B	10B	5A	5C	5C	5A	5C	5A	5A	5B	5A	5B	5B	39	7,68%	
					6	6B	8A	6B	10B	6A	6C	6C	6A	6C	6A	6A	6B	6A	6B	6B	38	7,48%	
						7	8B	9B	10B	11A	7B	7B	14A	15A	16A	17A	7A	19A	20A	7A	8	1,57%	
							8	8A	10B	8B	8C	8C	8A	8B	8A	17A	8B	19A	8A	8B	31	6,10%	
								9	10B	9B	9B	9B	14A	9B	9A	9A	9B	19A	20A	9A	21	4,13%	
									10	10B	10C	10C	10B	10C	10B	10B	10C	10B	10C	10C	68	13,39%	
										11	11B	11B	14A	11A	16A	17A	11A	19B	20A	21A	9	1,77%	
											12	12A	14B	15A	12A	17A	18A	19B	20A	12A	3	0,59%	
												13	14B	15A	16A	17B	18A	19B	20B	21B	0	0,00%	
													14	14B	14A	14A	14A	19A	20A	14B	20	3,94%	
														15	16A	17B	18A	19B	20A	15B	6	1,18%	
															16	17A	16A	19B	16A	16A	7	1,38%	
																17	17B	19A	17A	17B	18	3,54%	
																	18	19B	20A	18B	6	1,18%	
																		19	19A	19B	27	5,31%	
																			20	20A	11	2,17%	
																				21	4	0,79%	
																					TOTAL	508	100%

LEGENDA	
A	Pouco mais importante (1 ponto)
B	Medianamente mais importante (3 pontos)
C	Muito mais importante (5 pontos)

Fonte: (AUTOR, 2020).

A organização ordinal por importância dos requisitos de cliente, conforme o Diagrama de Mudge, é mostrada na Tabela 2.

Tabela 2 - Requisitos de cliente ordenados por importância.

(continua)

Classificação	Nº	Requisitos de Cliente	Valor	%
1º	10	Não oferecer risco aos operadores.	68	13,39%
2º	1	Oferecer estrutura rígida e estável.	63	12,40%

Tabela 2 - Requisitos de cliente ordenados por importância.

(conclusão)

Classificação	Nº	Requisitos de Cliente	Valor	%
3º	2	Possibilitar acionamento da talha.	52	10,24%
4º	4	Ter viga dentro das dimensões de troles comerciais.	41	8,07%
5º	5	Possuir dimensões maiores que a largura de caminhões comerciais.	39	7,68%
6º	6	Possuir altura que permita carga e descarga do maior transformador.	38	7,48%
7º	3	Possibilitar acionamento do trole.	36	7,09%
8º	8	Possuir sistema contra quedas abruptas.	31	6,10%
9º	19	Ter vida útil longa.	27	5,31%
10º	9	Possuir sistema de freios para estrutura.	21	4,13%
11º	14	Não possibilitar interferências entre estrutura e sistema de movimentação.	20	3,94%
12º	17	Possuir resistência à corrosão.	18	3,54%
13º	20	Ter dispositivo que auxilie a movimentação do pórtico.	11	2,17%
14º	11	Garantir alto aproveitamento das propriedades dos materiais.	9	1,77%
15º	7	Possuir sistema de fim de curso do trole.	8	1,57%
16º	16	Permitir acesso para manutenção do sistema de movimentação.	7	1,38%
17º	15	Permitir o acoplamento de um número diferente de troles e talhas.	6	1,18%
	18	Possuir resistência à poeira.		
19º	21	Possuir massa relativamente baixa.	4	0,79%
20º	12	Ter simples manutenção.	3	0,59%
21º	13	Ter processo de fabricação simples.	0	0,00%

Fonte: (AUTOR, 2020).

Os resultados obtidos através do Diagrama de Mudge indicam que o requisito de cliente mais importante a ser considerado no projeto do pórtico rolante é o requisito 10 (Não oferecer risco aos operadores), seguido ligeiramente pelo requisito 1 (Oferecer estrutura rígida e estável).

Os resultados encontrados já eram esperados, pois abordando o tema de máquinas de elevação e transporte sempre se observa mencionado segurança e resistência estrutural, como também indicado no diagrama. O primeiro requisito é fundamental, pois a integridade da vida humana deve estar acima de qualquer outro aspecto, e ainda, considerando que os operadores não são profissionais especializados neste tipo de atividade, fazem-se necessários cuidados adicionais com especificações de segurança. O segundo requisito, por sua vez, é de importância elementar para a satisfação do objetivo funcional do produto, resistir a carga de içamento.

Entre o terceiro e o sexto requisito percebe-se dois fatores importantes, inicialmente a necessidade de acoplamento e acionamento dos mecanismos necessários para o pórtico executar sua função (possibilitar acionamento da talha e ter viga dentro das dimensões de troles comerciais), estes devem ser muito bem observados durante o desenvolvimento da estrutura do pórtico para que nenhuma restrição ao funcionamento seja criada. Os demais requisitos citados neste parágrafo (possuir dimensões maiores que a largura de caminhões comerciais e possuir altura que permita carga e descarga do maior transformador.) remetem diretamente aos aspectos métricos que devem ser atendidos para sanar as necessidades de cliente e garantir uma estrutura viável ao laboratório.

Analisando o Diagrama de Mudge com uma perspectiva macro, percebe-se ainda que os requisitos com maior pontuação são os referentes ao funcionamento do içamento observando dimensões de caminhões comerciais, o que afirma a real necessidade de cliente de movimentar a carga. Essa é uma característica aparentemente óbvia, mas pode ser certificada neste ponto.

Outro fato que deve ser ressaltado e fielmente entendido é que o requisito de cliente 13 (ter processo de fabricação simples), apontado como o menos importante pelo diagrama e obtendo pontuação zero, não deve ser simplesmente desconsiderado, o fato é que ele não foi considerado mais importante frente a qualquer outro requisito. Este, juntamente com outros requisitos de cliente, como 21 e 12, que apresentam percentual de importância inferior a 1%, podem ser muito bem abordados durante o projeto, mas o foco de trabalho será voltado para os itens de maior pontuação.

4.1.4 Obtenção dos requisitos de projeto

O aspecto mais importante que deve ser observado e atendido em sua estruturação é que os requisitos de projeto se destacam por serem mensuráveis, desta forma, acompanhados por uma unidade de medida. Este aspecto é de suma importância pelo fato de que a mensuração quantitativa auxilia na determinação das características físicas do produto, informações importantes para futuras especificações e restrições do projeto. A definição dos requisitos de projeto, a partir dos requisitos de cliente, pode ser observada no Quadro 5.

Quadro 5 - Conversão dos requisitos de cliente em requisitos de projeto.

(continua)

Nº	Requisitos de Cliente	Requisitos de Projeto (métricas)	
1	Oferecer estrutura rígida e estável.	(1) - Carga (N)	(2) - Deflexão (mm)
2	Possibilitar acionamento da talha.	(3) - Potência (kW)	(4) - Altura (m)
3	Possibilitar acionamento do trole.	(3) - Potência (kW)	(5) - Vão (m)
4	Ter viga dentro das dimensões de troles comerciais.	(6) - Largura de barra (m)	(7) - Altura de barra (m)
5	Possuir dimensões maiores que a largura de caminhões comerciais.	(5) - Vão (m)	(8) – Largura (m)
6	Possuir altura que permita carga e descarga do maior transformador.	(4) - Altura (m)	
7	Possuir sistema de fim de curso do trole.	(5) - Vão (m)	(9) - Número de componentes para frear o sistema (unidades)
8	Possuir sistema contra quedas abruptas.	(9) - Número de componentes para frear o sistema (unidades)	

Quadro 5 - Conversão dos requisitos de cliente em requisitos de projeto.

(continuação)

Nº	Requisitos de Cliente	Requisitos de Projeto (métricas)		
9	Possuir sistema de freios para estrutura.	(9) - Número de componentes para frear o sistema (unidades)	(10) - Coeficiente de atrito à movimentação (μ)	
10	Não oferecer risco aos operadores.	(1) - Carga (N)	(11) - Número de componentes de proteção (unidades)	
11	Garantir alto aproveitamento das propriedades dos materiais.	(12) - Coeficiente de segurança (S)		
12	Ter simples manutenção.	(13) - Número de componentes (unidades)	(14) - Tempo de manutenção (h)	(15) - Custo (R\$)
13	Ter processo de fabricação simples.	(13) - Número de componentes (unidades)	(16) - Tempo de fabricação (h)	(15) - Custo (R\$)
14	Não possibilitar interferências entre estrutura e sistema de movimentação.	(17) - Geometria/Dimensões (m)		
15	Permitir o acoplamento de um número diferente de troles e talhas.	(6) - Largura de barra (m)	(7) - Altura de barra (m)	(4) - Altura (m)
16	Permitir acesso para manutenção do sistema de movimentação.	(17) - Geometria/Dimensões (m)		
17	Possuir resistência à corrosão.	(18) - Nível de proteção superficial (unidade)		
18	Possuir resistência à poeira.	(18) - Nível de proteção superficial (unidade)		

Quadro 5 - Conversão dos requisitos de cliente em requisitos de projeto.

(conclusão)

Nº	Requisitos de Cliente	Requisitos de Projeto (métricas)	
19	Ter vida útil longa.	(19) - Tempo de vida útil (anos)	
20	Ter dispositivo que auxilie a movimentação do pórtico.	(10) - Coeficiente de atrito à movimentação (μ)	(20) - Número de componentes para mover o sistema (unidades)
21	Possuir massa relativamente baixa.	(21) – Massa total (kg)	

Fonte: (AUTOR, 2020).

4.1.5 Hierarquização dos requisitos de projeto

Assim como realizado com os requisitos de cliente, os requisitos de projeto são hierarquizados, é válido ressaltar que existem diversas estruturas da Matriz QFD, neste projeto optou-se pela sua forma mais simples e objetiva, baseado em Projeto de produto (Baxter, 2000). A Matriz QFD construída para este projeto pode ser observada no Apêndice A, a partir dela pode-se definir a ordem de prioridade dos requisitos que está disposta na Tabela 3.

Tabela 3 - Ordem de prioridade dos requisitos de projeto.

(continua)

Prioridade	Nº	Requisito de Projeto	Pontuação
1º	1	Carga (N)	738
2º	12	Coeficiente de segurança (S)	736
3º	4	Altura (m)	695
4º	5	Vão (m)	631
5º	6	Largura de barra (m)	564
6º	2	Deflexão (mm)	555
7º	15	Custo (R\$)	526

Tabela 3 - Ordem de prioridade dos requisitos de projeto.

Prioridade	Nº	Requisito de Projeto	(conclusão)
			Pontuação
8º	11	Número de componentes de proteção (unidades)	523
9º	3	Potência (kW)	508
10º	7	Altura de barra (m)	480
11º	9	Número de componentes para frear o sistema (unidades)	476
12º	19	Tempo de vida útil (anos)	394
13º	17	Geometria/Dimensões (m)	272
14º	18	Nível de proteção superficial (unidade)	259
15º	8	Largura (m)	225
16º	21	Massa total (kg)	187
17º	10	Coeficiente de atrito à movimentação (u)	164
18º	20	Número de componentes para mover o sistema (unidades)	142
19º	13	Número de componentes (unidades)	134
20º	14	Tempo de manutenção (h)	77
21º	16	Tempo de fabricação (h)	27

Fonte: (AUTOR, 2020).

A Tabela 3 evidencia com assertividade que os requisitos de projeto mais importantes são os que fazem referência direta ao içamento, segurança desta ação e as dimensões absolutas do pórtico rolante, logicamente voltados para a situação problema apresentada inicialmente. É justificável que a grandeza de Carga (N), capacidade de trabalho do produto, seja o requisito hierarquizado como mais importante, pois este representa a possibilidade de execução da função geral de máquinas de elevação e transporte.

Seguido destas relações que podemos considerar mais físicas, surgem preocupações com relação à questão orçamentaria e a vida útil do produto, que são variáveis de projeto que usualmente aparecem para justificativa da criação do produto, por vezes, tornando-se agentes limitadores do projeto.

Contudo, ao fim da Tabela 3 apresentam-se os requisitos considerados menos importantes, que como observado, fazem relação com grandezas para situações bastante específicas. Ainda, precisamente nos dois últimos requisitos faz-se referência ao tempo

desprendido tanto para fabricação quanto para manutenção, por se tratar de um projeto específico de produção unitária que não prevê elevada rotina de trabalho essas colocações satisfazem os preceitos.

4.1.6 Especificações de projeto

Neste estágio do projeto, muitas variáveis não possuem um valor fixo, mas apresentam uma faixa de aceitação que determinará um resultado satisfatório. Além disto, algumas das especificações apresentadas referem-se a características gerais do pórtico rolante e caracterizam-se apenas como metas ou valores limites a serem alcançados.

Apresentadas estas considerações, pode-se então listar as especificações do projeto de desenvolvimento de um pórtico rolante para carga e descarga de transformadores. Abaixo, dispõem-se as características e os valores determinados:

- Carga suportada: 10 toneladas;
- Altura do pórtico rolante: maior que 4,10 metros;
- Vão do pórtico rolante: de 4 a 5,50 metros;
- Largura do pórtico rolante: menor que 3 metros;
- Altura da viga: maior que 200 milímetros;
- Largura da viga: entre 125 e 178 milímetros;
- Acionamento de talha/trole: elétrico;
- Massa da estrutura: menor que uma tonelada;
- Coeficiente de atrito a movimentação do pórtico: menor que 0,1;
- Coeficiente de segurança: maior que 1,33 (para diferentes análises).

Como justificativa para as especificações de projeto definidas, abaixo seguem algumas explicações do macro ambiente no qual o produto deverá ser inserido. A carga de 10 toneladas que deve ser suportada é um desejo dos clientes que veem possível futuras demandas de transformadores de massa próxima a este valor.

Em relação às dimensões do pórtico rolante, a altura deve ser maior que 4,10 metros, observando que para o içamento das cargas deve considerar-se a altura padrão do caminhão comercial, do transformador e o curso da talha e, conseqüentemente, foi possível determinar essa métrica. De forma análoga, o vão do pórtico deve assumir a largura padrão de caminhões e abertura de possíveis tampas laterais, o que admite um vão mínimo de 4 metros, ainda se

ressalta que a fundação possui uma largura nominal de aproximadamente 6 metros, contudo estipula-se um vão máximo de 5,50 metros. A relação de largura do pórtico rolante até 3 metros dá-se por um aproveitamento mais dinâmico da área da fundação e para facilitar a movimentação e translação do produto.

As definições de métricas para a viga principal são necessárias para correto acoplamento de uma variedade de conjuntos talha/trole com a carga requisitada, para tanto, a viga deve ter um perfil com largura entre 125 e 178 milímetros e com altura superior a 200 milímetros, garantindo sustentação de apoios e geometria sem interferências, respectivamente.

A estrutura deve prever instalações elétricas para alimentação dos motores e moto redutores do sistema de içamento, desejos do cliente. Além disso, para facilitar a movimentação do produto, remete-se que o pórtico rolante tenha massa total inferior a uma tonelada e que o coeficiente de atrito que restrinja o movimento seja inferior a 0,1. Por fim, deseja-se que o coeficiente de segurança seja de 1,33, com objetivo de melhor aproveitar os materiais disponíveis atendendo as recomendações de segurança, desta forma, controlando o valor investido no projeto.

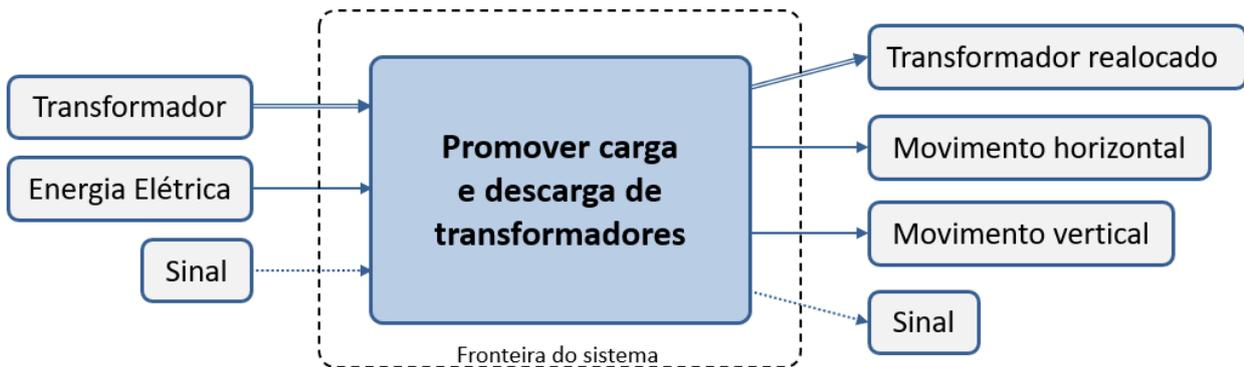
4.2 PROJETO CONCEITUAL

Neste capítulo, a partir das informações advindas do projeto informacional, durante a fase de projeto conceitual são definidas a função global, as funções parciais e as funções elementares, através de um diagrama funcional. Também são desenvolvidos princípios de solução para estas funções e uma matriz morfológica que as engloba. Posteriormente, são realizadas combinações destas soluções, formam-se as concepções preliminares e, finalmente, realiza-se a escolha da concepção final do projeto.

4.2.1 Identificação das funções

Para identificação da função global do pórtico rolante é necessário identificar os problemas essenciais relacionados ao produto, através disto, é possível ter uma visão macro do projeto. Ao avaliar o caso tanto da forma mais direta quanto da mais minuciosa chega-se a resultados idênticos de função global – promover carga e descarga de transformadores. O diagrama de blocos contendo a análise do sistema auxilia na consolidação desta informação, o mesmo é apresentado na Figura 15.

Figura 15 - Diagrama de blocos da função global.



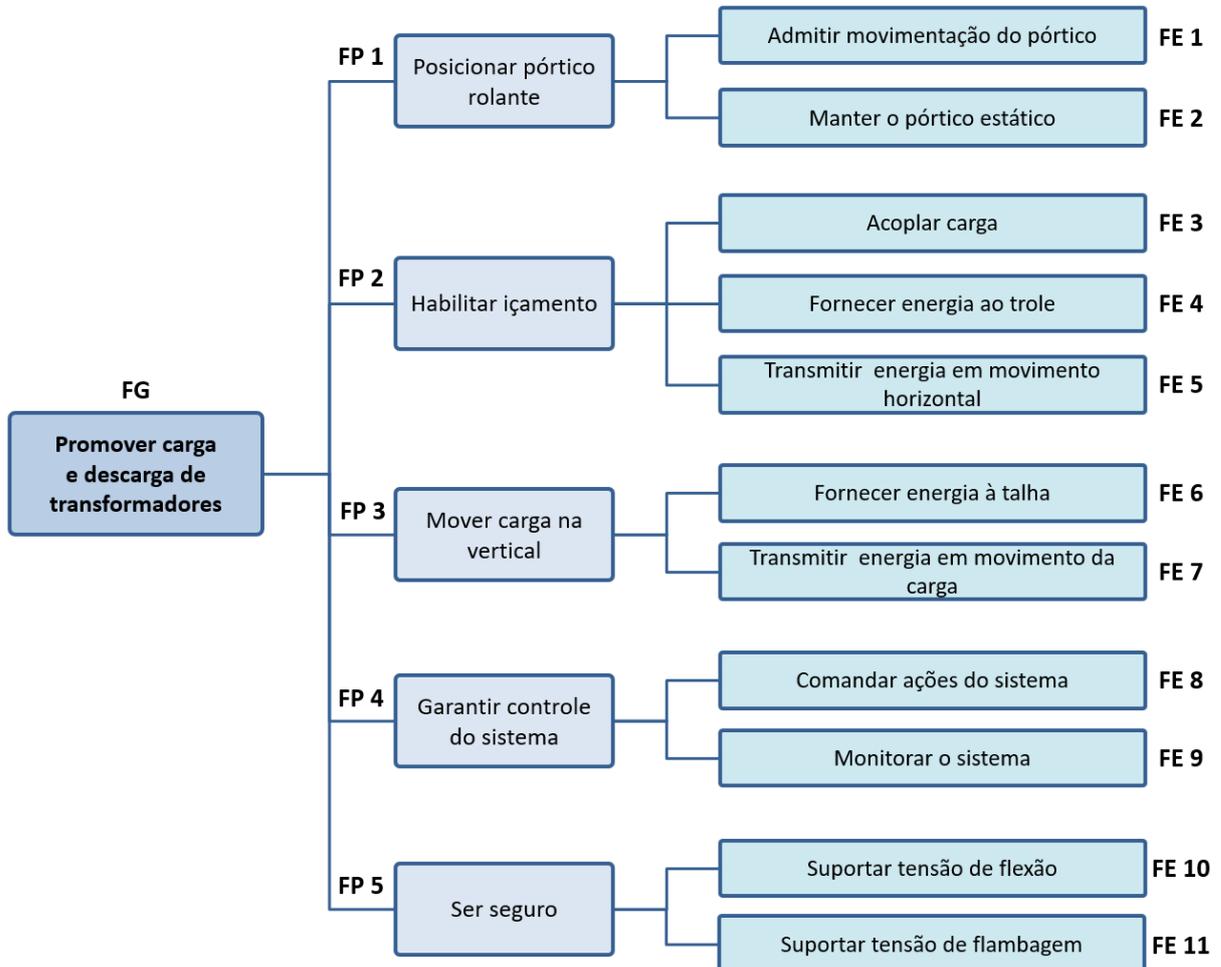
Fonte: (AUTOR, 2020).

No sistema, têm-se como entradas a energia elétrica e o sinal. A energia elétrica é convertida em energia mecânica para acionar os componentes que desempenham a função global de descarregar transformadores de carrocerias, que por sua vez são acionados e controlados através do sinal de entrada. A partir disso, as saídas do sistema são os movimentos verticais e horizontais, o transformador descarregado e o sinal de saída.

4.2.2 Diagrama funcional

A partir dos conceitos metodológicos, pode-se construir o diagrama funcional do projeto do pórtico rolante, Figura 16. Para fins de visualização e posterior referência, as funções global, parcial e elementar estão abreviadas como FG, FP e FE, respectivamente.

Figura 16 - Diagrama funcional.



Fonte: (AUTOR, 2020).

4.2.3 Matriz morfológica

A matriz morfológica, apresentada no Quadro 6, é formada estruturalmente pelas funções elementares determinadas anteriormente dispostas em linhas, já as colunas representam os princípios de solução para cada problema. Logo, a estrutura apresenta número de linhas igual ao número de funções elementares e o número de colunas igual ao número de soluções da função com mais princípios de solução. Também é importante determinar um número mínimo aceitável de soluções para cada função, no contexto desse trabalho adotam-se ao menos duas soluções para cada função elementar listada.

Quadro 6 - Matriz morfológica.

(continua)

Função Elementar	Princípios de solução		
	A	B	C
FE 1	 Trilhos	 Rodízios	 Pneus
FE 2	 Freio de tambor	 Freio a disco	 Freio de pedal
FE 3	 Correntes	 Cintas de náilon	 Diretamente ao gancho
FE 4	 Elétrico	 Mecânico	 Manual
FE 5	 Rodas sobre trilho	 Pinhão e cremalheira	

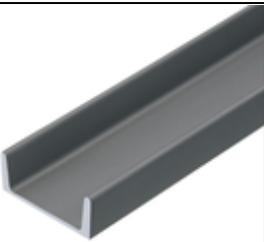
Quadro 6 - Matriz morfológica.

(continuação)

Função Elementar	Princípios de solução		
	A	B	C
FE 6	 <p>Elétrica</p>	 <p>Mecânica de corrente</p>	 <p>Mecânica de alavanca</p>
FE 7	 <p>Correntes</p>	 <p>Cabo de aço</p>	
FE 8	 <p>Controle remoto</p>	 <p>Botoeira suspensa</p>	 <p>Manualmente</p>
FE 9	 <p>Automatizado</p>	 <p>Alarme sonoro luminoso</p>	 <p>Visualmente</p>

Quadro 6 - Matriz morfológica.

(conclusão)

	Princípios de solução		
Função Elementar	A	B	C
FE 10	 Perfil I	 Perfil U	
FE 11	 Perfil I	 Perfil U	 Perfil C

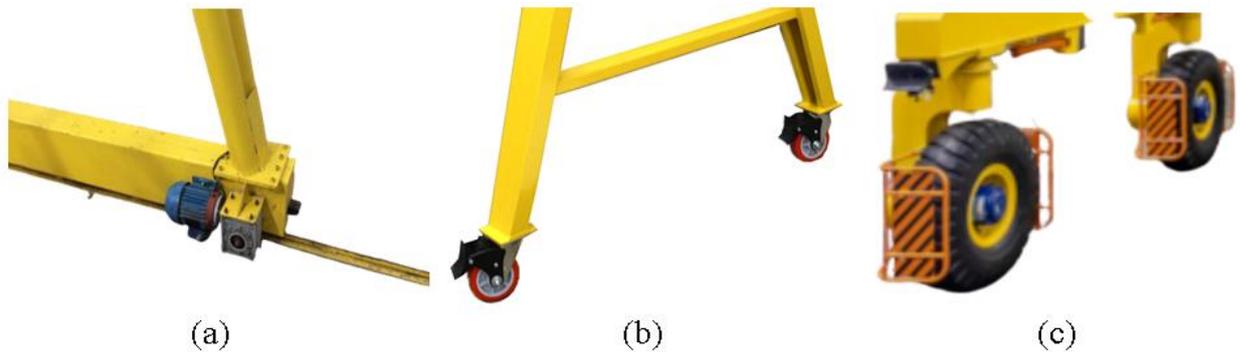
Fonte: (AUTOR, 2020).

Para melhor entendimento da matriz morfológica, opta-se por discutir cada uma das funções elementares e seus princípios de solução na sequência, com uma breve descrição e justificativa da adoção dos mesmos.

- **Princípios de solução para a Função Elementar 1: admitir movimentação do pórtico.**

A função representa a necessidade da movimentação e manobrabilidade do pórtico para facilitar o carregamento e descarregamento da carga. Desta forma, buscaram-se princípios de solução que permitam a mudança de posição da estrutura. O princípio de solução A, apresentado na Figura 17(a), é um sistema de trilhos, que garantiriam movimento em uma única direção, mas ainda garantiriam mobilidade. No princípio de solução B, mostrado na Figura 17(b), a movimentação é admitida por rodízios independentes que garantem mais liberdade de manobrabilidade à estrutura. O princípio de solução C, exibido na Figura 17(c), é um sistema composto por pneus, garantindo movimentação em diferentes tipos de terreno, não somente em fundação construída.

Figura 17 - Princípios de solução para a Função Elementar 1.

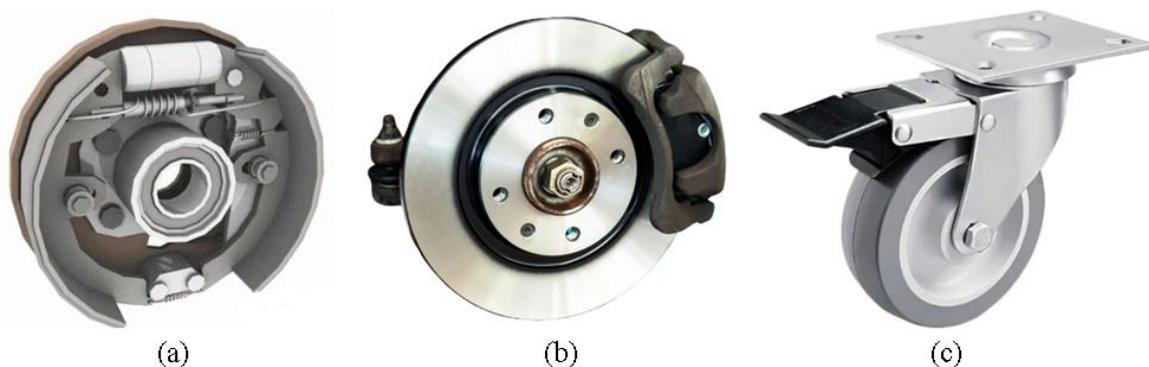


Fonte: ((a) Adaptado de: ROCE, 2019; (b) Adaptado de: BRASS, 2016; (c) Adaptado de: MAUSA, 2019).

- **Princípios de solução para a Função Elementar 2: manter o pórtico estático.**

Também pertencente à função parcial de posicionar o pórtico, existe a necessidade de mantê-lo parado durante a operação de içamento, para tanto, se faz fundamental um sistema de freios para a estrutura. O princípio de solução A, apresentado na Figura 18(a), é um sistema de freio a tambor, mais utilizado em aplicações com rodas grandes, que complementaria principalmente o leiaute com pneus. O princípio de solução B, mostrado na Figura 18(b), é um sistema de freio a disco, que pode ter qualquer escala e garante uma maior eficiência. O princípio de solução C, apresentado na Figura 18(c), é um sistema de freio de pedal (ou semelhante), o modelo mais simples, geralmente associado a aplicações menos dinâmicas, contudo, muito mais acessível financeiramente.

Figura 18 - Princípios de solução para a Função Elementar 2.

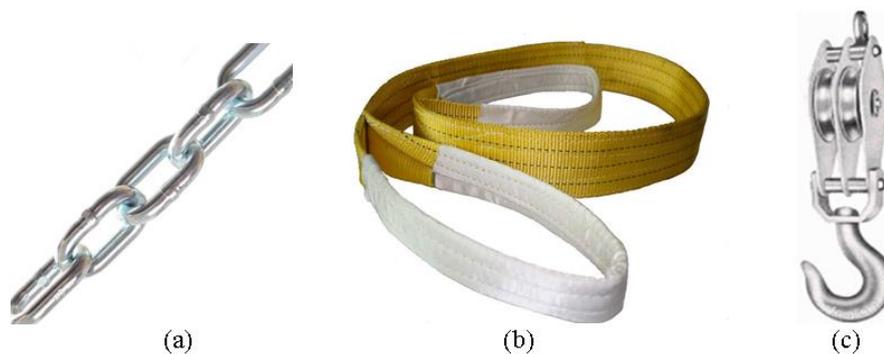


Fonte: ((a) Adaptado de: KBB, 2018; (b) Adaptado de: AKY, 2018; (c) Adaptado de: COLSON, 2017).

- **Princípios de solução para a Função Elementar 3: acoplar carga.**

Esta função representa a preocupação inicial a partir do momento em que caminhão e pórtico estão corretamente posicionados, prender a carga ao sistema de movimentação. Essa ligação deve ser feita de forma eficiente e segura, para tal, existem diversas formas usualmente empregadas. O princípio de solução A, exibido na Figura 19(a), trata-se da utilização de correntes, que ligariam a carga ao moitão da talha, é uma forma barata e flexível de realizar a operação. No princípio de solução B, apresentado na Figura 19(b), intenta-se a utilização de cintas de náilon “nylon” ou poliéster de alta resistência, fibra de aramida entre outros, possuem valor agregado mais elevado, mas garantem resposta a possíveis rompimentos. O princípio de solução C, mostrado na Figura 19(c), não visa a utilização de quaisquer complementos além do gancho do moitão, é a solução mais simples e barata, porém depende da carga ter um ponto de içamento previamente planejado.

Figura 19 - Princípios de solução para a Função Elementar 3.



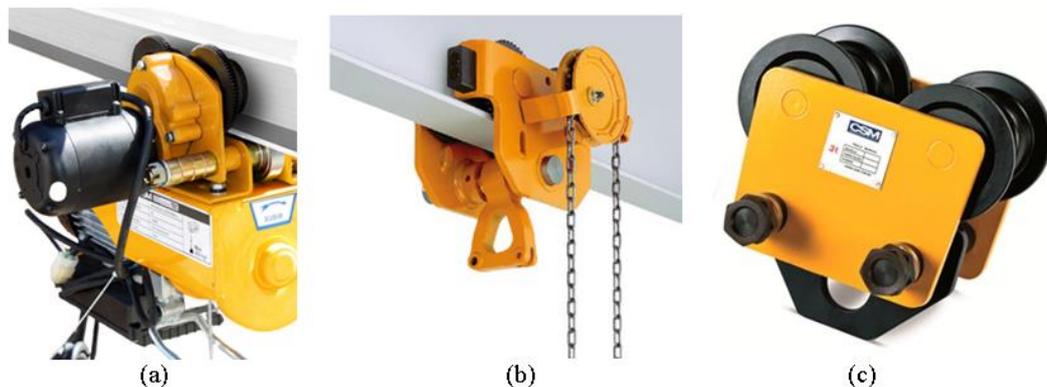
Fonte: ((a) Adaptado de: LEROY MERLIN, 2020; (b) Adaptado de: ROMAN, 2014; (c) Adaptado de: CABLEMAX, 2010).

- **Princípios de solução para a Função Elementar 4: fornecer energia ao trole.**

Outro ponto bastante importante depois de posicionados caminhão e estrutura é o posicionamento do trole. Para tanto, inicialmente faz-se uma análise das formas de trole baseados em diferentes formas de atuação e demanda de energia. No princípio de solução A, mostrado na Figura 20(a), adota-se um trole elétrico, podendo ter motor e redutor próprio ou partilhado com a talha, caso a mesma seja elétrica, este módulo permitiria ainda a movimentação da carga em sentido horizontal. No princípio de solução B, mostrado na Figura 20(b), o trole é movimentado por um sistema mecânico, alimentado por força manual, com transmissão de rotações, esta arquitetura também permitiria movimentação horizontal da carga.

O princípio de solução C, apresentado na Figura 20(c), consiste em um trole manual sem sistema mecânico de transmissão, este modelo permite a movimentação do trole somente sem carga, todavia, é relativamente muito barato.

Figura 20 - Princípios de solução para a Função Elementar 4.



Fonte: ((a) Adaptado de: CSM, 2020; (b) Adaptado de: KITO, 2013; (c) Adaptado de: CSM, 2017).

- **Princípios de solução para a Função Elementar 5: transmitir energia em movimento horizontal.**

Ainda em relação ao trole, além de alimentar o sistema, é preciso garantir a movimentação do mesmo de forma eficiente, existem duas estruturas geralmente atribuídas para essa aplicação. O princípio de solução A, apresentado na Figura 21(a), é uma estrutura que conta com rodas apoiadas sobre trilhos, é a alternativa mais barata e ainda cumpre a necessidade principal que diz respeito somente ao posicionamento do trole. No princípio de solução B, exibido na Figura 21(b), a estrutura conta com um par pinhão/cremalheira que garante controle de torque e maior estabilidade estática, porém acompanha elevação no custo do projeto.

Figura 21 - Princípios de solução para a Função Elementar 5.

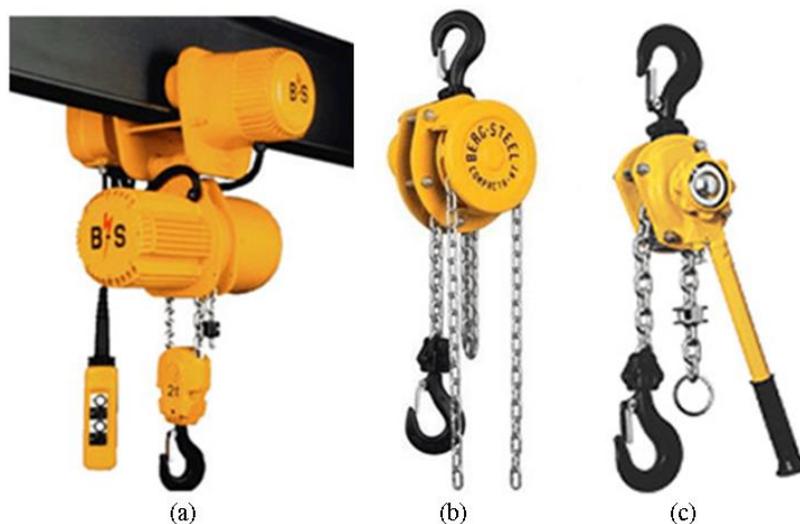


Fonte: ((a) Adaptado de: DOIS DEZ, 2020; (b) Adaptado de: AUTOMOTION, 2020).

- **Princípios de solução para a Função Elementar 6: fornecer energia a talha.**

De forma análoga a FE 3, faz-se uma análise das formas de talha baseadas em diferentes formas de atuação e demanda de energia. O princípio de solução A, exibido na Figura 22(a), é uma talha elétrica, garante estabilidade e velocidade no içamento, contudo apresenta valor mais elevado em relação às demais. O princípio de solução B, mostrado na Figura 22(b), é uma talha manual de correntes, bastante similar ao trole mecânico, possui uma caixa de transmissão que permite o acionamento por força humana. O princípio de solução C, apresentado na Figura 22(c), uma talha manual de alavanca, possui transmissão similar à do princípio anterior, porém é voltada para aplicações que demandam maior torque e menor velocidade.

Figura 22 - Princípios de solução para a Função Elementar 6.

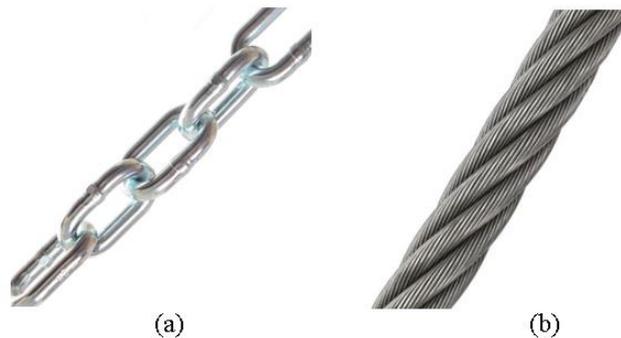


Fonte: (Adaptado de: BERG, 2020).

- **Princípios de solução para a Função Elementar 7: transmitir energia em movimento da carga.**

Ainda em relação à talha, e de forma análoga a FE 4, neste tópico avalia-se qual recurso é utilizado para movimentar a carga no sentido vertical, dado o acionamento da talha. Neste caso, verifica-se qual componente é tracionado para realizar o içamento. No princípio de solução A, mostrado na Figura 23(a), utiliza-se correntes ligadas ao tambor da talha, é uma forma de solução presente em todos os tipos de talhas, mas não é indicada para cargas muito elevadas. No princípio de solução B, exposto na Figura 23(b), utiliza-se cabo de aço ligado ao tambor da talha, comumente empregado em sistemas alimentados por eletricidade, pode ser atribuído para trabalho com cargas muito elevadas.

Figura 23 - Princípios de solução para a Função Elementar 7.



Fonte: ((a) Adaptado de: LEROY MERLIN, 2020; (b) Adaptado de: TCS, 2020).

- **Princípios de solução para a Função Elementar 8: comandar ações do sistema.**

Neste tópico aborda-se a questão de controle do sistema, diretamente ligado ao controle das ações do sistema de movimentação. No princípio de solução A, apresentado na Figura 24(a), utiliza-se um controle remoto, que pode ser utilizado tanto para movimentação do trole quanto da talha, caso haja compatibilidade. No princípio de solução B, mostrado na Figura 24(b), emprega-se uma botoeira suspensa, diretamente ligada por fio a talha ou ao trole. O princípio de solução C, apresentado na Figura 24(c), é a utilização da força humana como forma de comando manual, dentre as citadas, a única compatível com sistemas de movimentação não elétricos.

Figura 24 - Princípios de solução para a Função Elementar 8.



Fonte: ((a) Adaptado de: SEYCONEL, 2016; (b) Adaptado de: XAGA, 2006; (c) Adaptado de: PNGWING, 2020a).

- **Princípios de solução para a Função Elementar 9: monitorar o sistema.**

Além de comandar o sistema propriamente, é preciso receber as informações quanto às situações decorrentes, a partir disso são realizadas tomadas de decisão. Para isso, podem existir soluções que variam de alta dependência humana à alta dependência computacional. O princípio de solução A, exposto na Figura 25(a), é a utilização de um sistema automatizado que pode entregar diversos dados a um operador ou até comandar ações baseando-se em *inputs*. O princípio de solução B, mostrado na Figura 25(b), é a utilização de alertas sonoro luminosos para determinadas situações específicas que necessitam de uma ação do operador. O princípio de solução C, exibido na Figura 25(c), é o caso de total dependência humana, onde utiliza-se unicamente da observação visual para tomada de decisão.

Figura 25 - Princípios de solução para a Função Elementar 9.

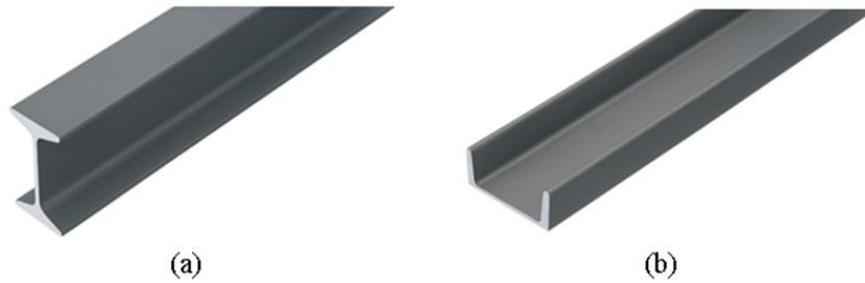


Fonte: ((a) Adaptado de: GAREN, 2016; (b) Adaptado de: GOLLYN, 2017; (c) Adaptado de: PNGWING, 2020b).

- **Princípios de solução para a Função Elementar 10: suportar tensão de flexão.**

A função representa a relevância da escolha do perfil da viga principal, peça que sofre alta tensão de flexão, diretamente ligado à relação de rigidez da estrutura e segurança de operadores envolvidos. Considera-se ainda, que esse aspecto influencia diretamente no custo do projeto e propriedades dos materiais devem ser bem aproveitadas. O princípio de solução A, mostrado na Figura 26(a), é a adoção de um perfil I, que apresenta elevada resistência e medidas condizentes com troles comerciais. O princípio de solução B, apresentado na Figura 26(b), é a adoção de perfis U, duas barras justapostas acarretariam em resistência semelhante à outra solução e possível redução de custos.

Figura 26 - Princípios de solução para a Função Elementar 10.

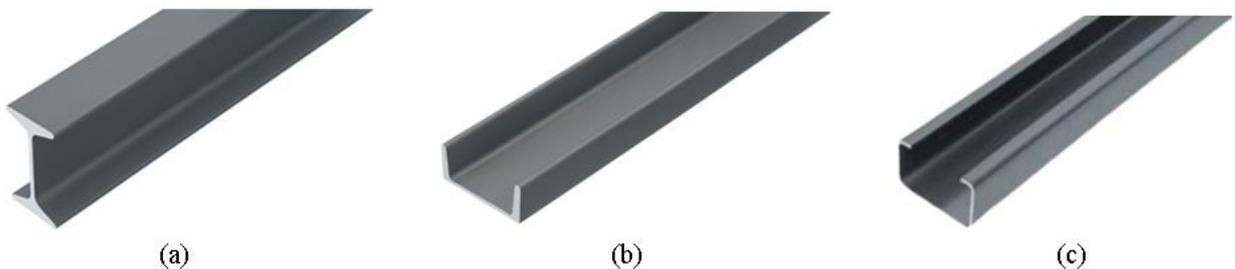


Fonte: ((a) Adaptado de: GERDAU, 2019a; (b) Adaptado de: GERDAU, 2019b).

- **Princípios de solução para a Função Elementar 11: suportar tensão de flambagem.**

De maneira bastante similar ao item anterior, a função elementar 11 representa a relevância da escolha do perfil das estruturas de sustentação da viga principal, peça que sofre alta tensão de flambagem, logo, diretamente ligado à segurança do pessoal envolvido. Considera-se ainda, que esse aspecto influencia diretamente no custo do projeto e propriedades dos materiais devem ser bem aproveitadas. O princípio de solução A, apresentado na Figura 27(a), é a adoção de perfis I, uma opção bastante robusta para a aplicação, mas poderia resultar em dispensa de reforços treliçados. O princípio de solução B, exposto na Figura 27(b), é a adoção de perfis U, geralmente aplicadas em estruturas com alto carregamento. O princípio de solução C, mostrado na Figura 27(c), é a adoção de perfis C, geralmente aplicadas em estruturas com carregamento menos elevado, por terem espessura mais fina.

Figura 27 - Princípios de solução para a Função Elementar 11.



Fonte: ((a) Adaptado de: GERDAU, 2019a; (b) Adaptado de: GERDAU, 2019b; (c) Adaptado de: GERDAU, 2006).

4.2.4 Concepções preliminares

Tendo referência no Quadro 6, pode ser realizada a combinação dos princípios de solução obtidos na seção anterior e, a partir disto, formar soluções globais para o sistema. Para esse trabalho foram levantadas três soluções preliminares que poderiam ser compatíveis às necessidades do cliente. O Quadro 7 apresenta a combinação que dá origem a essas concepções.

Quadro 7 - Concepções preliminares.

(continua)

Função Elementar	Concepções Preliminares		
	Concepção 1	Concepção 2	Concepção 3
FE 1			
FE 2			
FE 3			
FE 4			

Quadro 7 - Concepções preliminares.

(continuação)

Função Elementar	Concepções Preliminares		
	Concepção 1	Concepção 2	Concepção 3
FE 5			
FE 6			
FE 7			
FE 8			
FE 9			

Quadro 7 - Concepções preliminares.

(conclusão)

	Concepções Preliminares		
Função Elementar	Concepção 1	Concepção 2	Concepção 3
FE 10			
FE 11			

Fonte: (AUTOR, 2020).

De forma breve, a concepção 1 consiste em um modelo de pórtico rolante com maior nível de tecnologia, buscando controle absoluto sobre os sistemas e empregando diversos itens de custo mais elevado. Desde a utilização de materiais relativamente mais resistentes, perfis I como solução para a FE 10 e perfis U como solução da FE 11. No que refere à movimentação da estrutura, para melhor controle do deslocamento, empregam-se sistema de trilhos e freios a disco, contemplando a FE 1 e 2, respectivamente. Quanto ao sistema de movimentação, tanto trole como talha são elétricos, soluções da FE 4 e 6, respectivamente. O trole conta com um conjunto pinhão e cremalheira acoplado ao trilho para garantir maior estabilidade durante elevação de carga, solução da FE 5, a talha utiliza de cabos de aço para elevação de carga por apresentarem maior resistência e vida útil, solução da FE 7, e a fixação da carga é feita por meio de cintas de náilon, solução da FE 3. Finalmente, considerando aspectos de controle, emprega-se uma botoeira suspensa para aplicação de comandos ao sistema de movimentação e ainda se utiliza de um sistema sonoro luminoso para alertas, respectivamente soluções das FE 8 e FE 9.

Por sua vez, a concepção 2 apresenta um modelo que se caracteriza por propor um bom custo benefício ao projeto, utilizando de tecnologias mais avançadas direcionadas aos sistemas elementares e aplicando princípios mais simples nos sistemas periféricos. Da mesma forma da concepção anterior são escolhidos perfis I como solução para a FE 10 e perfis U como solução da FE 11. Quanto à movimentação da estrutura, opta-se por empregar um sistema de rodízios,

como solução da FE 1, que não necessita de fundação específica e garante maior liberdade de movimentação, além de utilizar freios de pedal, como solução da FE 2, que são muito mais simples, baratos e práticos. O sistema de movimentação de carga é análogo ao do modelo anterior, trole e talha são elétricos, respectivamente soluções da FE 4 e 6. Entretanto neste modelo, o trole conta apenas com um sistema de rodas sobre o perfil metálico da viga principal, solução da FE 5, o que não garante travamento do mesmo. A talha, assim como na concepção anterior, utiliza de cabos de aço para elevação de carga, solução da FE 7, e a fixação da carga também é feita por meio de cintas de náilon, solução da FE 3. Por fim, referente ao controle, também se emprega uma botoeira suspensa para aplicação de comandos, contudo, não é embarcado um sistema de segurança auxiliar, todas as considerações são feitas por simples observação humana, respectivamente esses princípios representam soluções da FE 8 e 9.

Finalmente, a concepção 3 consiste em um modelo de pórtico rolante mais simples, consequentemente mais barato e que depende da ação humana para o funcionamento de todos os seus sistemas. Ainda, buscando provável redução no custo final do equipamento, opta-se pela utilização de materiais mais acessíveis, perfis U justapostos como solução para a FE 10 e perfis C como solução da FE 11. No que refere à movimentação da estrutura, de forma análoga à concepção 2, opta-se por implementar um modelo construtivo mais simples e barato empregando sistema de rodízios, princípio de solução da FE 1, e freios de pedal, atendendo da FE 2. Já o sistema de movimentação de cargas apresenta características bastante distintas dos modelos anteriores, com mecanismos mais simples, tanto talha quanto trole são de ativação manual, representando os princípios de solução para a FE 4 e 6, respectivamente. A talha, nesta concepção, utiliza de correntes para elevar a carga, solução da FE 7, geralmente presente nos modelos de talhas manuais, e o acoplamento da carga ao moitão também é dado por correntes, princípio de solução da FE 3. Por sua vez, o trole conta com um sistema de rodas sobre o perfil metálico da viga principal, solução da FE 5, análogo à concepção anterior. Enfim, todo sistema de controle é centralizado no operador humano, toda a série de comandos é dada de forma manual, princípio de solução da FE 8, e todas as considerações são feitas por simples observação humana, princípio de solução da FE 9.

4.2.5 Avaliação das concepções preliminares

As concepções sobre o projeto do pórtico rolante ainda precisam ser avaliadas. Desta forma as Tabela 4 e Tabela 5 apresentam as matrizes de avaliação e de decisão, respectivamente.

Tabela 4 - Matriz de avaliação.

Requisitos de cliente	Pont.	Concepção 1		Concepção 2		Concepção 3	
		Grau	P x G	Grau	P x G	Grau	P x G
Não oferecer risco aos operadores.	68	5	340	5	340	3	204
Oferecer estrutura rígida e estável.	63	5	315	5	315	3	189
Possibilitar acionamento da talha.	52	5	260	5	260	3	156
Ter viga dentro das dimensões de troles comerciais.	41	5	205	5	205	5	205
Possuir dimensões maiores que a largura de caminhões comerciais.	39	5	195	5	195	5	195
Possuir altura que permita carga e descarga do maior transformador.	38	5	190	5	190	5	190
Possibilitar acionamento do trole.	36	5	180	5	180	3	108
Possuir sistema contra quedas abruptas.	31	5	155	5	155	5	155
Ter vida útil longa.	27	3	81	5	135	5	135
Possuir sistema de freios para estrutura.	21	5	105	5	105	5	105
Não possibilitar interferências entre estrutura e sistema de movimentação.	20	5	100	5	100	5	100
Possuir resistência à corrosão.	18	3	54	5	90	3	54
Ter dispositivo que auxilie a movimentação do pórtico.	11	5	55	5	55	5	55
Garantir alto aproveitamento das propriedades dos materiais.	9	5	45	5	45	5	45
Possuir sistema de fim de curso do trole.	8	5	40	5	40	5	40
Permitir acesso para manutenção do sistema de movimentação.	7	3	21	5	35	5	35
Permitir o acoplamento de um número diferente de troles e talhas.	6	5	30	5	30	5	30
Possuir resistência à poeira.	3	5	15	5	15	5	15
Possuir massa relativamente baixa.	4	3	12	3	12	5	20
Ter simples manutenção.	3	1	3	3	9	5	15
Ter processo de fabricação simples.	0	3	0	3	0	5	0
Total			2401		2511		2051

Fonte: (AUTOR, 2020).

Tabela 5 - Matriz de decisão.

(continua)

Requisitos de projeto	Pont.	Concepção 1		Concepção 2		Concepção 3	
		Grau	P x G	Grau	P x G	Grau	P x G
Carga (N)	738	5	3690	5	3690	5	3690
Coefficiente de segurança (S)	736	5	3680	5	3680	5	3680
Altura (m)	695	5	3475	5	3475	5	3475
Vão (m)	631	5	3155	5	3155	5	3155
Largura de barra (m)	564	5	2820	5	2820	3	1692
Deflexão (mm)	555	5	2775	5	2775	3	1665
Custo (R\$)	526	1	526	3	1578	5	2630
Número de componentes de proteção (unidades)	523	5	2615	5	2615	3	1569
Potência (kW)	508	5	2540	5	2540	1	508
Altura de barra (m)	480	5	2400	5	2400	5	2400
Número de componentes para frear o sistema (unidades)	476	5	2380	3	1428	1	476
Tempo de vida útil (anos)	394	3	1182	5	1970	5	1970
Geometria/Dimensões (m)	272	5	1360	5	1360	5	1360
Nível de proteção superficial (unidade)	259	5	1295	5	1295	5	1295
Largura (m)	225	5	1125	5	1125	5	1125
Massa total (kg)	187	3	561	3	561	5	935
Coefficiente de atrito à movimentação (u)	164	5	820	5	820	3	492
Número de componentes para mover o sistema (unidades)	142	5	710	3	426	1	142
Número de componentes (unidades)	134	1	134	3	402	5	670
Tempo de manutenção (h)	77	1	77	3	231	5	385
Tempo de fabricação (h)	27	1	27	3	81	5	135
Total		37347		38427		33449	

Fonte: (AUTOR, 2020).

Analisando os resultados obtidos observa-se que as duas matrizes apresentam respostas semelhantes. Percebe-se, inicialmente, que a concepção 3 dispõe de pontuação bastante inferior em relação as demais, logo esta é a primeira a ser descartada. As concepções 1 e 2, por sua vez, apresentam somatórios bastante próximos nas duas análises, inclusive por apresentarem forma construtiva semelhante, diferindo apenas em características periféricas. Contudo, a concepção 2 se destaca em ambas caracterizando convergência de decisão e, por conta disso, torna-se a concepção escolhida.

4.3 PROJETO PRELIMINAR

Nesta etapa são avaliadas as entradas advindas do projeto conceitual e, a partir disso, determina-se de forma assertiva quais os componentes do projeto. No decorrer do capítulo, faz-se a classificação da arquitetura do produto, se seleciona os materiais e suas propriedades, constrói-se a árvore de produto e a lista de componentes, estima-se custos, modela-se o projeto e realiza-se a análise de falhas.

4.3.1 Classificação da arquitetura do produto

Nesta seção são feitas apenas algumas classificações quanto ao projeto. Inicialmente, quanto a arquitetura construtiva, pode-se facilmente definir que o projeto possui uma arquitetura modular, tanto que diversos elementos que compõem o pórtico rolante não são projetados, mas sim adquiridos por meio de compra.

Tendo definido isso, pode-se dividir o pórtico rolante em módulos: módulo da estrutura, módulo de movimentação da carga, módulo de movimentação da estrutura. Cada um destes exerce uma função específica, sem haver funções partilhadas entre os módulos, mesmo sendo necessária a existência de um outro para posicionamentos os sustentação, por exemplo.

Se analisados de forma mais categórica, pode-se subdividir essas estruturas modulares em diferentes vezes. Por exemplo, no módulo de movimentação da estrutura pode haver uma subdivisão entre o sistema de rolamento e a estrutura de fixação. Ainda, podemos separar o módulo de movimentação de carga em talha, trole e instrumentos de fixação da carga, assim por diante. Contudo, como o projeto desse trabalho é voltado para a estrutura, é muito importante enumerar a possibilidade da divisão da mesma em viga principal e estrutura de sustentação. No decorrer do trabalho denomina-se subconjuntos todas essas subdivisões secundárias e grupos dos módulos principais.

Por fim, dedicou-se também a essa seção revisões de leiaute do produto que destoassem da forma clássica. Contudo, por se tratar de uma estrutura tradicional que não acomete de alto grau de inovação e, ainda, pelo alto grau de responsabilidade envolvido, não se justifica a tentativa de versões alternativas que são favorecem os princípios da resistência de matérias já previstos no leiaute tradicional.

4.3.2 Seleção de materiais

De forma expositiva, são realizadas considerações breves são apontadas para a talha e os rodízios, é dado maior foco aos materiais dos perfis metálicos.

Quanto a talha, duas considerações devem ser feitas, a primeira é que o produto comprado deve apresentar cabo de aço inoxidável, de utilização externa, e o segundo é que o motor elétrico deve apresentar grau de proteção mínimo IP 44, que garante proteção contra objetos sólidos com 1,0 mm de diâmetro ou mais e proteção contra jatos de água. Por sua vez, os rodízios devem ser de poliuretano moldado, pois possuem elevada dureza, excelente resistência a abrasão, impactos, intempéries e produtos químicos, além de garantirem menor esforço para movimentação. Opta-se pelos modelos YGPEX 104 PE e YFPEX 104 PE da marca Schioppa, detalhados na Tabela 6, que são produzidos no material citado e suportam as cargas de trabalho.

Tabela 6 - Detalhamento das dimensões dos rodízios.

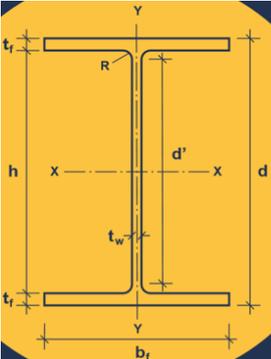
 (mm)	 (mm)	 (pol)	Tipo de Eixo (mancal)	 KG	 (mm)	 (mm)
250	213	25	Rolamento de Esferas	3600	365	227

Fonte: (Adaptado de: SCHIOPPA, 2017).

Tratando-se da viga principal perfil I é preciso considerar os seguintes fatores, o material deve apresentar propriedades mecânicas muito elevadas, que garantam rigidez, dimensões que façam prevalecer o momento de inércia, baixo índice de carbono, que favoreça o processo de soldagem, disponibilidade de mercado e custo. Dentro desses parâmetros, destacam-se os aços estruturais, dos quais foi escolhido o ASTM A572 Grau 50, mais precisamente o perfil Gerdau

W 410 x 38,8 cujas informações técnicas são apresentadas na Figura 28. Esse material apresenta como propriedades $\sigma_e = 345$ MPa, $\sigma_r = 450$ MPa e $E = 207$ GPa.

Figura 28 - Informações técnicas do perfil da viga principal.

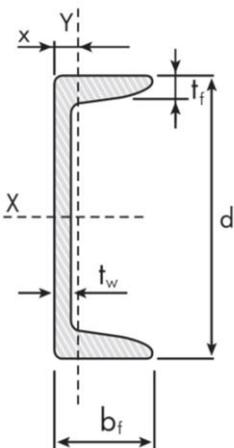


Massa Linear kg/m	d mm	b _f mm	ESPESSURA		h mm	d' mm	Área cm ²
			t _w mm	t _f mm			
38,8	399	140	6,4	8,8	381	357	50,3
EIXO X - X				EIXO Y - Y			
I _x cm ⁴	W _x cm ³	r _x cm	Z _x cm ³	I _y cm ⁴	W _y cm ³	r _y cm	Z _y cm ³
12777	640,5	15,94	736,8	404	57,7	2,83	90,9

Fonte: (Adaptado de: GERDAU, 2017).

Por seguinte, o perfil U deve também apresentar boas propriedades mecânicas, entretanto não necessitam ser tão elevadas quando as do perfil anterior, dimensões que favoreçam o momento de inércia, baixo percentual de carbono, disponibilidade de mercado e, claro, custo. Dentre os materiais comercializados o que mais se encaixa nos critérios é o aço ASTM A36 com propriedades $\sigma_e = 250$ MPa, $\sigma_r = 400$ MPa e $E = 200$ GPa. O escolhido particular foi o perfil Gerdau U 203,2 X 5,59 A36 que possui detalhamento dado na Figura 29.

Figura 29 - Informações técnicas do perfil U.



Peso	ALMA		ABA			
Nominal	d	t _w	b _f	t _f	area	
kg/m	mm	mm	mm	mm	cm ²	
17,10	203,20	5,59	57,40	9,50	21,68	
EIXO X			EIXO Y			
I	W	r	I	W	r	x
cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ³	cm	cm
1344,30	132,70	7,87	54,10	12,94	1,42	1,47

Fonte: (Adaptado de: GERDAU, 2014).

4.3.3 Lista de materiais e custos

A lista de materiais, exposta na Tabela 7, não tem por objetivo determinar as peças específicas do pórtico rolante, embora algumas sejam bens finais, mas sim busca evidenciar quais as matérias primas são fundamentais para o desenvolvimento do projeto, desde as mais brutas como chapas até produtos de consumo final como a talha. A estrutura da mesma é dada por colunas que classificam cada um dos materiais dispostos nas linhas através de um número, que não delimita nenhuma relação hierárquica, descrição do material, unidade de medida, quantidade a ser obtido, custo por unidade e custo total.

Tabela 7 - Lista de materiais.

(continua)

Nº	Descrição	Unidade	Quant.	Valor unit.	Valor total
1	Gerdau PF I W410 X 38,8 A572 Grau 50 12M FX4,66T - 465,600 kg/12 m	Barra	1	R\$ 2.644,61	R\$ 2.644,61
2	Gerdau PF U 203,2 X 5,59 mm ASTM A36 6M FX2T - 102,600 kg/6 m	Barra	6	R\$ 816,70	R\$ 4.900,20
3	Chapa de aço ASTM A36 1/2" (1,2 x 3 metros) - 99 kg/m ²	kg	360	R\$ 4,24	R\$ 1.527,12
4	Rodizio giratório Schioppa YGPEX 104 PE poliuretano moldado - 3600 kg	Unit.	2	R\$ 990,22	R\$ 1.980,44
5	Rodizio fixo Schioppa YFPEX 104 PE poliuretano moldado - 3600 kg	Unit.	2	R\$ 799,42	R\$ 1.598,84
6	Parafuso sextavado 5/8" X 1 1/2" - aço	Unit.	28	R\$ 3,45	R\$ 96,60
7	Porca sextavado autotravante 5/8" UNC zincada (com trava de Nylon)	Unit.	28	R\$ 2,60	R\$ 72,80
8	Arruela lisa 5/8"	Unit.	56	R\$ 0,65	R\$ 36,40
9	Talha Elétrica Cabo de aço Polti 10 Ton - 9 Metros de elevação - com trole elétrico	Unit.	1	R\$ 17.750,00	R\$ 17.750,00
10	Cinta para Elevação de Carga 10T com 4 Metros - MG CINTO-MULT5313	Unit.	1	R\$ 553,33	R\$ 553,33
11	Arame para Solda MIG 1,6 MM Tubular 15KG OK Tubrod 71 Ultra ESAB	Rolo	1	R\$ 291,00	R\$ 291,00

Tabela 7 - Lista de materiais.

(conclusão)

Nº	Descrição	Unidade	Quant.	Valor unit.	Valor total
12	Recarga de gás ATAL25 - cilindro com 10 m ³	m ³	10	R\$ 29,50	R\$ 295,00
13	Solução desoleante 00400 - 900ml - Lazzuril	Unit.	3	R\$ 15,80	R\$ 47,40
14	Kit wash prime fundo fosfatizante com catalizador 600ml	Kit	3	R\$ 35,00	R\$ 105,00
15	Tinta automotiva PU Amarela - 3,6 l	Galão	3	R\$ 350,00	R\$ 1.050,00
Total de materiais					R\$ 32.948,74
Frete					R\$ 2.000,00
TOTAL					R\$ 34.948,74

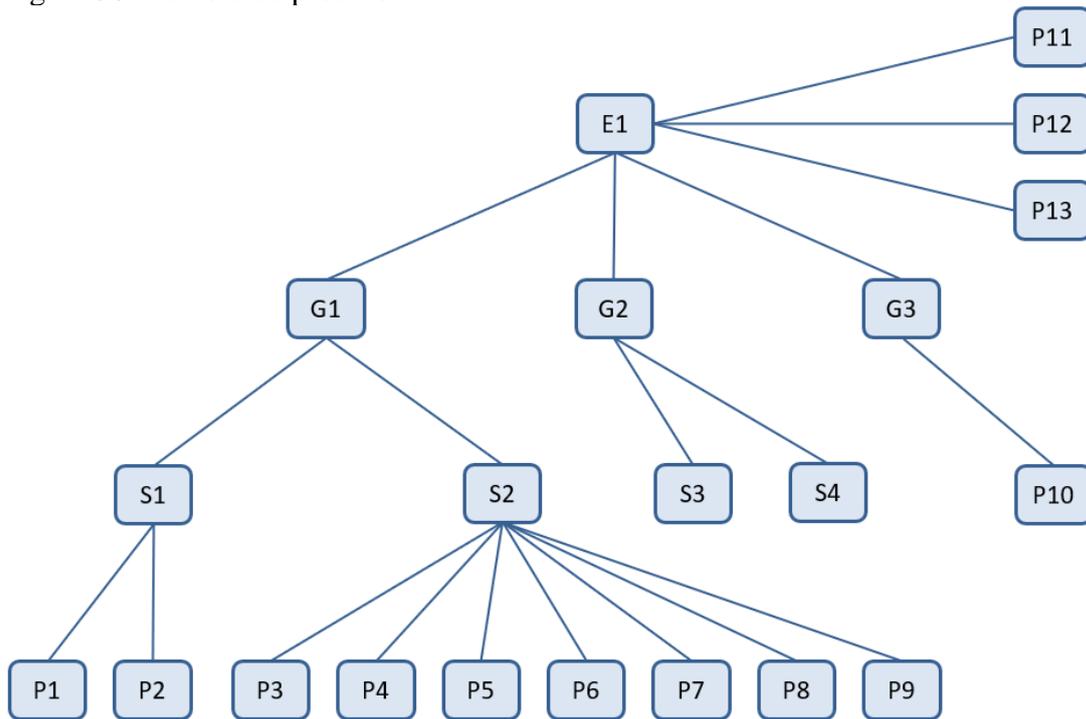
Fonte: (AUTOR, 2020).

Como pode-se observar, as colunas da direita da Tabela 7 apresentam os valores de compra dos respectivos componentes, a partir disso, tem-se o custo monetário total do projeto em materiais, R\$ 32.948,74. Pode-se acrescentar a esse valor uma estimativa de custos de frete ao material, em situação pessimista, em torno de 2 mil reais. Ainda, considerando que não haverá gastos adicionais na produção, pois os processos de fabricação deverão ser realizados nas dependências do NAFA, não há somatórios adicionais a estrutura de custos, totalizando um investimento no projeto de aproximadamente 35 mil reais.

4.3.4 Árvore de produto

A estrutura da árvore de produto é apresentada na Figura 30 onde classificam-se: E como produto, G como grupo, S como subconjunto e P como peça.

Figura 30 - Árvore de produto.



Fonte: (AUTOR, 2020).

Na seção posterior cada uma destas classificações da árvore de produto é relacionada com um código de projeto e sua respectiva equivalência na lista de componentes.

4.3.5 Lista de componentes

Estruturada de forma que as colunas trazem informações quanto a classificação da árvore de produto, o código de projeto, nome do componente e a quantidade total do mesmo dentro do projeto, nessa ordem, a lista pode ser observada na Tabela 8.

Ainda vale ressaltar, mesmo que um grupo ou subconjunto apresente quantidade igual ou superior a dois as peças que o compõem já estão apresentadas em valor absoluto, não deve ser considerada nenhuma forma de multiplicação de componentes.

Tabela 8 - Lista de componentes.

(continua)

Clas.	Código de projeto	Nome do componente	Quant.
E1	01.00.00.00	Pórtico Rolante INRI	01
G1	01.01.00.00	Estrutura do Pórtico Rolante	01

Tabela 8 – Lista de Componentes.

(conclusão)

Clas.	Código de projeto	Nome do componente	Quant.
S1	01.01.01.00	Subconjunto da Viga Principal	01
P1	01.01.01.01	Viga Principal Perfil I	01
P2	01.01.01.02	Chapa União Superior	04
S2	01.01.02.00	Subconjunto da Estrutura de Sustentação	02
P3	01.01.02.01	Perfil U Lateral	04
P4	01.01.02.02	Perfil U Inferior	02
P5	01.01.02.03	Perfil U Central	02
P6	01.01.02.04	Perfil U Superior	02
P7	01.01.02.05	Perfil U Transversal	02
P8	01.01.02.06	Chapa União Inferior	04
P9	01.01.02.07	Suporte União Inferior	08
G2	01.02.00.00	Sistema de Movimentação da Estrutura	01
S2	01.02.01.00	Rodizio Giratório	02
S3	01.02.02.00	Rodizio Fixo	02
G3	01.03.00.00	Sistema de Movimentação de Carga	01
P10	01.03.00.01	Cinta de Elevação de Carga	01
P11	00.00.00.01	Parafuso Sextavado 5/8" x 2"	28
P12	00.00.00.02	Porca Sextavada Autotravante 5/8"	28
P13	00.00.00.03	Arruela Lisa 5/8"	56

Fonte: (AUTOR, 2020).

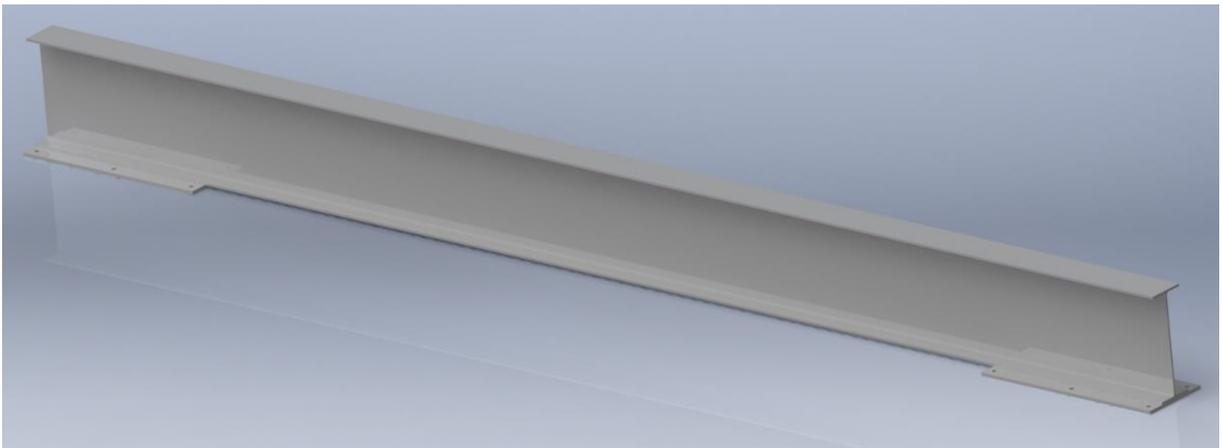
A partir desse ponto, todas as considerações aos componentes do projeto são feitas considerando seu código de projeto, principalmente no que compreende os desenhos técnicos.

4.3.6 Modelagem

Modelou-se digitalmente os componentes presentes na Tabela 8. Deu-se enfoque nas partes projetadas, ou seja, peças da estrutura, outros componentes adquiridos foram representados com as informações disponibilizadas pelos fornecedores.

Considera-se importante a apresentação gráfica de alguns destes componentes projetados. Desta forma, as Figura 31, Figura 32 e Figura 33, apresentam renderizações da montagem dos subconjuntos da estrutura, 01.01.01.00 - Subconjunto da Viga Principal e 01.01.02.00 - Subconjunto da Estrutura de Sustentação, e ainda a renderização de uma montagem do projeto final, sem o sistema de movimentação de carga acoplado, respectivamente.

Figura 31 - Modelagem do Subconjunto da Viga Principal.



Fonte: (AUTOR, 2020).

Figura 32 - Modelagem do Modelagem da Estrutura de Sustentação.



Fonte: (AUTOR, 2020).

Figura 33 - Modelagem da montagem do pórtico rolante.



Fonte: (AUTOR, 2020)

4.3.7 Dimensionamento da estrutura

A norma adotada NBR 8400, por muitas vezes, é bastante generalista, ora engloba casos específicos para guindastes, ora para pórticos e pontes rolantes, portanto neste trabalho são abordadas somente as seções que dizem respeito ao pórtico rolante operando em ambiente específico, pátio do INRI. São abordados em diversos momentos conceitos elementares de resistência dos materiais e mecânica dos sólidos, aconselha-se o acompanhamento do livro *Resistência dos Materiais* já citado para maior profundidade nos conceitos, de toda forma a NBR 8400 adota formas específicas de determinação de variáveis que são seguidas e apontadas no decorrer do texto. Com isso, considera-se as três seguintes causas de falha possíveis:

- ultrapassagem do limite de escoamento;
- ultrapassagem das cargas críticas de flambagem;
- ultrapassagem do limite de resistência à fadiga.

4.3.7.1 Classificação da estrutura

A estrutura do equipamento deve ser classificada conforme o serviço que irá executar, são consideradas características quanto à classe de utilização, estado de carga e estado de tensões. A partir dessas classificações, define-se o grupo da estrutura, delimitação que influencia no grau de majoração adotado.

Quanto a classe de utilização, considera-se que o INRI não demande alta utilização do equipamento, portanto, define-se a classe de utilização A para o projeto, dentre as classificações apresentadas na Tabela 9. A partir disso, também é definido convencional de ciclos de levantamento, posteriormente empregado em considerações quanto a fadiga.

Tabela 9 - Classes de utilização.

Classe de utilização	Frequência de utilização do movimento de levantamento	Número convencional de ciclos de levantamento
A	Utilização ocasional não regular, seguida de longos períodos de repouso	63000

Fonte: (Adaptado de: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1984).

Como o equipamento elevará raramente cargas de ordem máxima a classificação do estado de carga e de tensões é considerada de grau 1 (leve), visto que ambas se dão por tabelas

muito semelhantes, apresenta-se somente a relação de estados de carga na Tabela 10, a relação de estados de tensões deve ser considerada de forma análoga.

Tabela 10 - Estados de carga.

Estado de carga	Definição	Fração mínima da carga máxima
1 (leve)	Equipamentos que raramente levantam a carga nominal e comumente cargas de ordem de 1/3 da carga nominal	P = 1/3

Fonte: (Adaptado de: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1984).

Conseqüentemente, relacionando estas duas classificações por meio da Tabela 11, determina-se que o pórtico rolante pertence ao grupo 2.

Tabela 11 - Classificação da estrutura dos equipamentos em grupos.

Estado de cargas (ou estado de tensões para um elemento)	Classe de utilização e número convencional de ciclos de levantamento (ou de tensões para um elemento)			
	A 63000	B 200000	C 630000	D 2000000
1 (leve) P = 1/3	2	3	4	5

Fonte: (Adaptado de: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1984).

Por fim, analisa-se a Tabela 12 e, por meio desta, define-se o coeficiente de majoração $M_X = 1$, que funciona como um fator de segurança ao sistema, contudo, devido à baixa escala de utilização do equipamento o mesmo não influencia na majoração de cálculos.

Tabela 12 - Valores do coeficiente de majoração para equipamentos industriais.

Grupos	1	2	3	4	5	6
M_X	1	1	1	1,06	1,12	1,20

Fonte: (Adaptado de ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1984).

4.3.7.2 Solicitações

Inicialmente classifica-se as solicitações principais, ou verticais, são as advindas do próprio peso do equipamento (S_G) e as devidas à carga de serviço (S_L). Para a primeira carga considera-se o somatório do peso da viga principal, talha e trole, totalizando 1194 kgf ou aproximadamente 11709,14 N. Já a segunda carga, que representa a carga de serviço, é assumida como a capacidade de operação do pórtico rolante, ou seja, 10000 kgf ou aproximadamente 98066,5 N.

Atrelado as solicitações principais, considera-se ainda o coeficiente dinâmico (ψ), que admite um acréscimo de carga devido movimentos de içamento relativamente bruscos. A partir da velocidade de elevação dada pelo fabricante da talha, 7 m/min (aproximadamente 0,117 m/s), verifica-se na Tabela 13 que o coeficiente dinâmico é 1,15.

Tabela 13 - Valores do coeficiente dinâmico ψ .

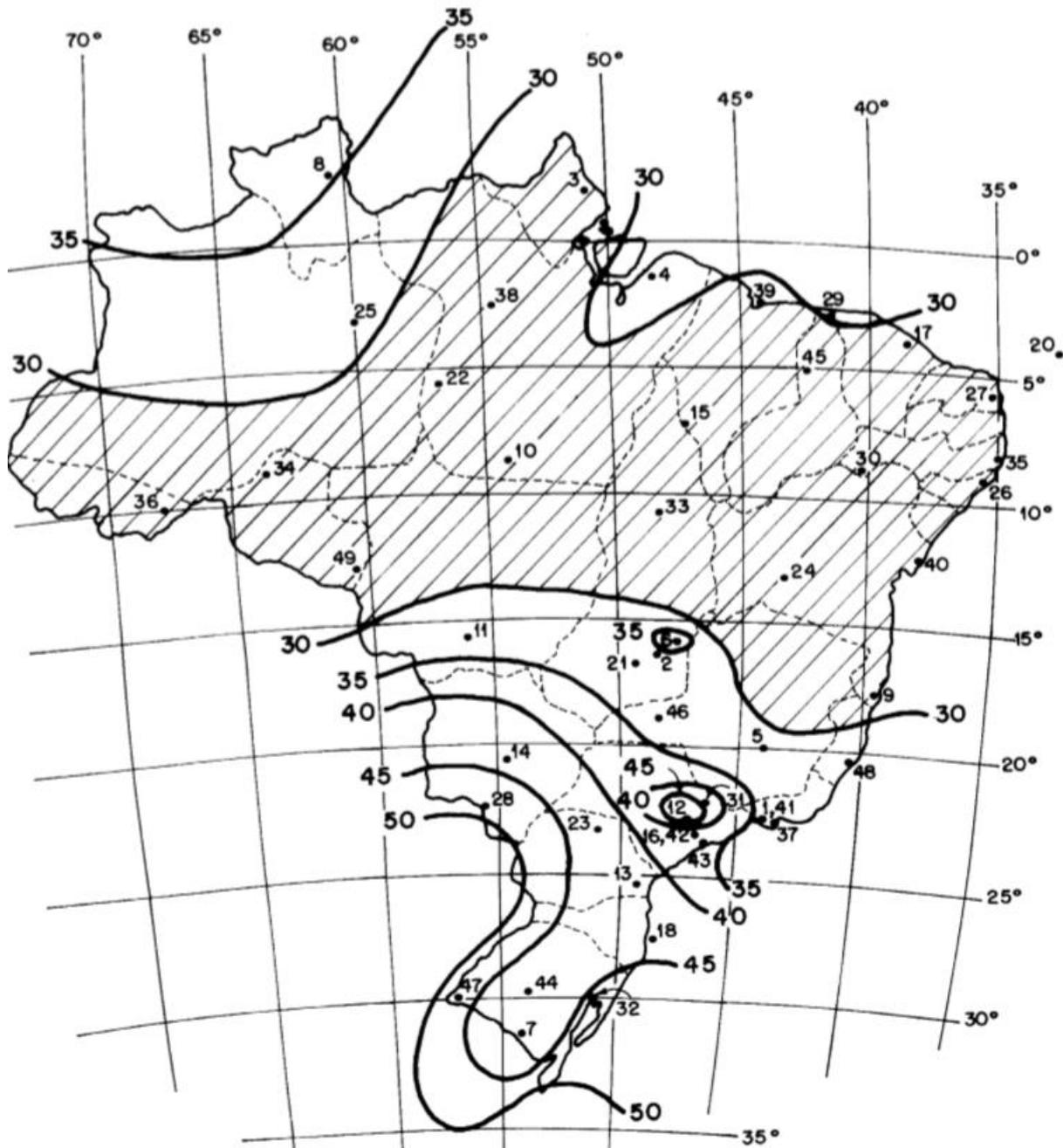
Equipamento	Coeficiente dinâmico ψ	Faixa de velocidade de elevação da carga (m/s)
Pontes ou pórticos rolantes	1,15	$0 < V_l \leq 0,25$

Fonte: (Adaptado de: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1984).

Como a função do pórtico rolante é somente içar transformadores de carrocerias de caminhões, os movimentos do trole são realizados somente para posicionamento do sistema de movimentação, todas as operações de levantamento de carga devem ser realizadas com o trole estático, portanto, as solicitações horizontais devidas à inércia de movimento ou impacto podem ser consideradas nulas.

Ainda como solicitação horizontal, deve ser considerada a ação do vento sobre a estrutura, para tal identifica-se a velocidade do vento em Santa Maria, $v_W = 44$ m/s, através do mapa de isopletas da NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações, apresentado na Figura 34.

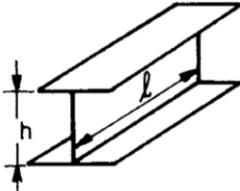
Figura 34 - Isopletas da velocidade básica.



Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988).

Também é necessário identificar o coeficiente aerodinâmico da estrutura (C), neste projeto considera-se a viga principal como superfície sob repressão. A partir da razão entre comprimento da viga e sua altura, igual a 12,53, faz-se a interpolação dos valores de coeficiente apresentados na Tabela 14 e obtém-se $C = 1,45$.

Tabela 14 - Valores de coeficiente aerodinâmico.

Tipo de viga	Croqui	Relação	Coeficiente aerodinâmico (C)
Viga de alma cheia		$\frac{l}{h} = 20$	1,6
		$\frac{l}{h} = 10$	1,4

Fonte: (Adaptado de: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1984).

Por conseguinte, calcula-se a pressão aerodinâmica (P_a) através da Equação (1), e ainda a força do vento sobre a viga e sobre a carga suspensa, através da Equação (2), respectivamente 3501,68 N e 6050 N. Toma-se, a título indicativo, área $A = 0,5 \text{ m}^2$ para cada 10 kN de carga limite de trabalho e coeficiente aerodinâmico 1 para realização dos cálculos. Somadas, tem-se $F_W = 9551,68 \text{ N}$.

$$P_a = \frac{v_W^2}{1,6} \quad (1)$$

$$F_W = C \cdot A \cdot P_a \quad (2)$$

Onde:

P_a - Pressão aerodinâmica

v_w - Velocidade do vento

C - Coeficiente aerodinâmico

A - Área de incidência do vento

F_W - Carga do vento

Não são consideradas solicitações por variação de temperatura (S_H), visto que o projeto possui relativa liberdade de dilatação e opera fora da faixa de observação, nem por acessos ou passadiços, não presentes na estrutura.

Para as solicitações presentes no modelo, a NBR 8400 sugere que a definição de uma força normal total dada pela Equação (3), solicitações perpendiculares a esta (definido como eixo y) só são abordadas para casos onde há movimentação da carga nesse sentido. Para o presente trabalho considera-se então $S = 134079,8 \text{ N}$.

$$S = M_X(S_G + \psi \cdot S_L + S_H) + S_W \quad (3)$$

Onde:

S - Solicitação total

M_X - Coeficiente de majoração

S_G - Solicitação devida ao peso próprio

S_H - Solicitação devida aos movimentos horizontais

S_L - Solicitação devida à carga de serviço

S_W - Solicitação devida ao vento limite de serviço

ψ - Coeficiente dinâmico

4.3.7.3 Definição das tensões admissíveis.

Ainda segundo a NBR 8400, classifica-se a solicitação resistida pelo pórtico rolante como de caso II - serviço normal com vento limite de serviço. Para essa situação, como pode ser observado na Tabela 15, a tensão normal admissível é dada pela tensão de escoamento do material dividida por 1,33.

Tabela 15 - Tensões admissíveis à tração ou compressão simples.

Casos de solicitação	Caso I	Caso II	Caso III
Tensão admissível (σ_a)	$\frac{\sigma_e}{1,5}$	$\frac{\sigma_e}{1,33}$	$\frac{\sigma_e}{1,1}$

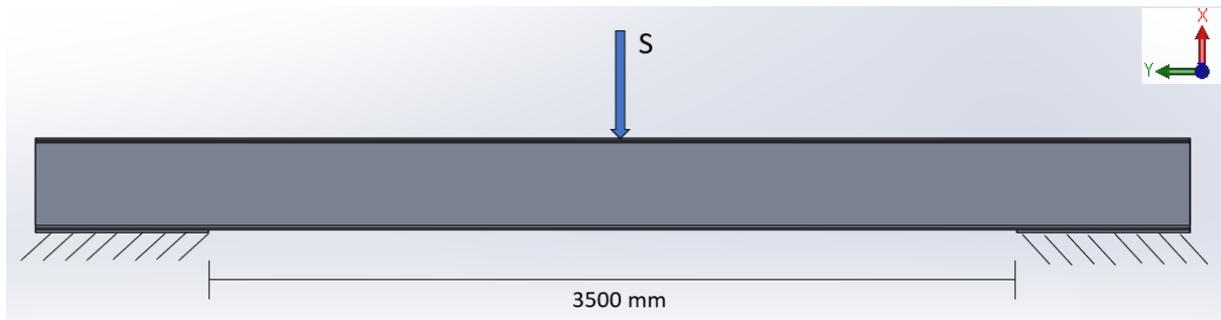
Fonte: (Adaptado de: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1984).

Desta forma, para verificações na viga principal, em aço ASTM A572 Grau 50 de $\sigma_e = 345$ MPa, adota-se $\sigma_a = 259,39$ MPa e para verificação dos perfis U, em aço ASTM A36 de $\sigma_e = 250$ MPa, adota-se $\sigma_a = 187,97$ MPa.

4.3.7.4 Verificação da viga principal

Primeiramente, define-se como o problema é observado, vide Figura 35.

Figura 35 - Representação de contorno Viga Principal.



Fonte: (AUTOR, 2020).

Verifica-se se as tensões atuantes não excedem a tensão admissível. Supõe-se que a viga sofre todas as sollicitações calculadas na seção 4.4.1.2 aplicadas nominalmente ao centro da viga, cujo vão livre (V) considerado é 3,5 m, distância entre as chapas de fixação da união superior. Dando início, calcula-se as tensões cortantes e os momentos fletores, para a situação crítica com carga centralizada através das Equações (4) e (5).

$$V_{AB} = \frac{S}{2} \quad (4)$$

$$M_{m\acute{a}x} = V_{AB} \cdot \frac{V}{2} \quad (5)$$

Onde:

V_{AB} - Força vertical em casos de sollicitação simétrica

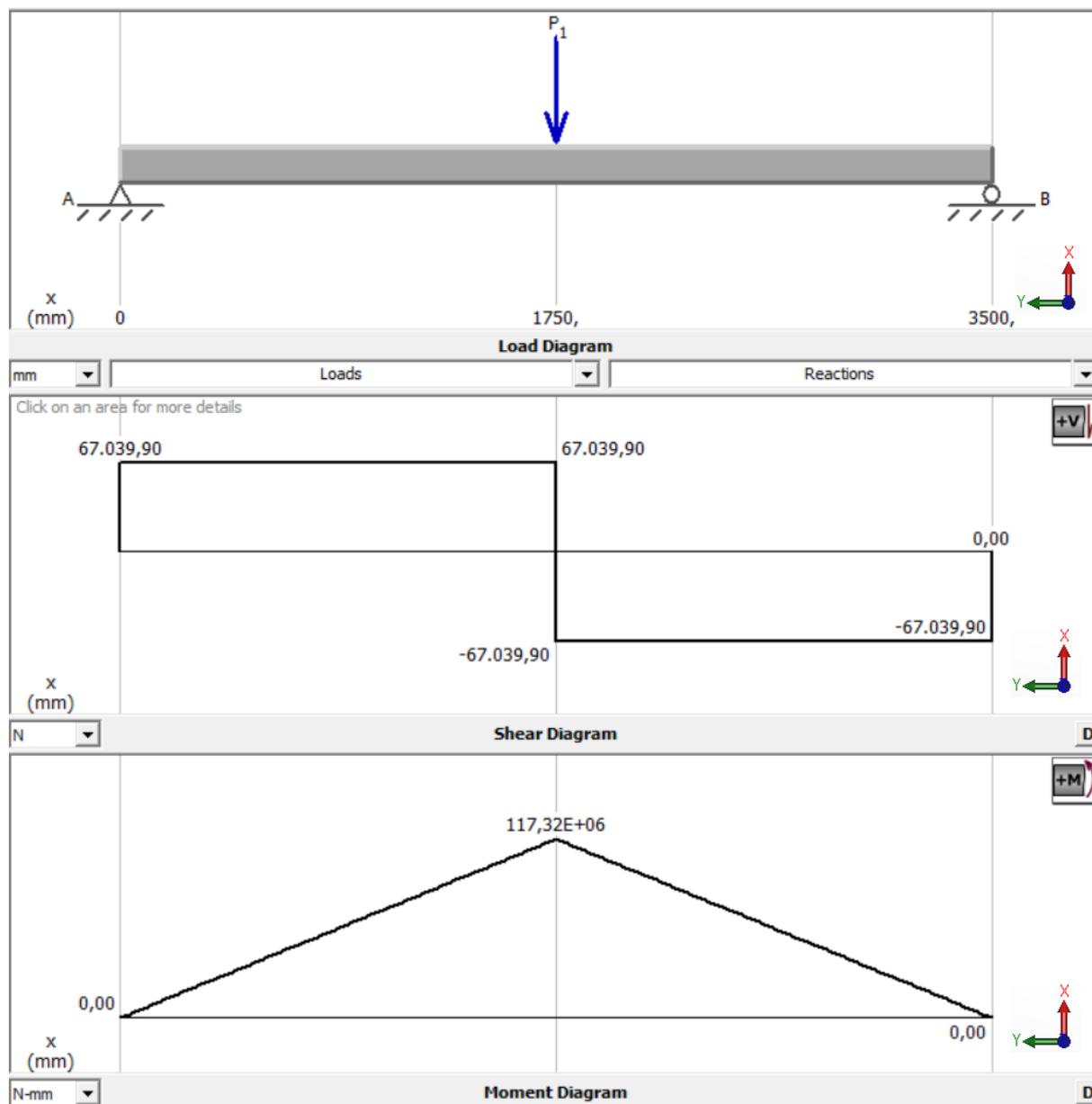
S - Sollicitação total

$M_{m\acute{a}x}$ - Momento fletor máximo

V - Vão livre de uma viga do pórtico rolante

Assim, obteve-se valores de $V_{AB} = 67039,91$ N e $M_{m\acute{a}x} = 117319,84$ Nm, resultados verificados através do software analítico *MDSolids*, a Figura 36 ilustra as saídas do mesmo.

Figura 36 - Diagramas de esforços cortantes e momento fletor da viga principal.



Fonte: (AUTOR, 2020).

Desta forma, pode-se calcular a tensão normal (σ_x , considerando a dada orientação) e a tensão de cisalhamento (τ_{xy}) em um ponto infinitesimal na secção exatamente ao meio da viga através das Equações (6) e (7), respectivamente, a norma sugere a utilização de ambos os esforços nesse ponto. Para esse caso de cálculo a carga aerodinâmica está contida na solicitação nominal, ainda, como o pórtico não opera movimentos horizontais carregado, a solicitação horizontal é nula e conseqüentemente $\sigma_y = 0$.

$$\sigma_x = \frac{M_{m\acute{a}x} \cdot d}{I_X} \quad (6)$$

$$\tau_{xy} = \frac{S}{A_t} \quad (7)$$

Onde:

σ_x - Tens\~ao normal ao plano yz nos esfor\~cos combinados

$M_{m\acute{a}x}$ - Momento fletor m\~aximo

d - Dist\~ancia do centro de gravidade at\~e a extremidade da sec\~c\~ao

τ_{xy} - Tens\~ao de cisalhamento agindo no plano normal \~a dire\~c\~ao de σ_x (ou σ_y)

S - Solicita\~c\~ao total

A_t - \~Area da sec\~c\~ao transversal da viga principal

Atrav\~es das equa\~c\~oes anteriores obt\~em-se os valores $\sigma_x = 183,18$ MPa e $\tau_{xy} = 26,66$ MPa. Finalmente, aplica-se o crit\~erio de verifica\~c\~ao recomendado pela NBR 8400, Equa\~c\~ao (8) (HIBBELER, 2004), o Crit\~erio de von Mises.

$$\sigma_{cp} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \cdot \sigma_x + 3\tau_{xy}^2} \leq \sigma_a \quad (8)$$

Onde:

σ_{cp} - Tens\~ao de an\~alise

σ_x - Tens\~ao normal ao plano yz nos esfor\~cos combinados

σ_y - Tens\~ao normal ao plano xz nos esfor\~cos combinados

τ_{xy} - Tens\~ao de cisalhamento agindo no plano normal \~a dire\~c\~ao de σ_x (ou σ_y)

σ_a - Tens\~ao admiss\~ivel \~a tra\~c\~ao ou compress\~ao

Dessa maneira, encontra-se valor $\sigma_{cp} = 188,91$ MPa. Por fim, analisa-se as tens\~oes uma a uma com a respectiva tens\~ao admiss\~ivel, para o a\~co ASTM A572 Grau 50. Assim sendo, $\sigma_x < \sigma_a$ com um coeficiente de seguran\~ca adicional de 1,41, $\tau_{xy} < \tau_a$ com coeficiente de seguran\~ca adicional de 5,61 e $\sigma_{cp} < \sigma_a$ com coeficiente de seguran\~ca adicional 1,37. Prova-se, dessa forma, que n\~ao h\~a falha por exceder a tens\~ao admiss\~ivel na viga principal.

Ainda \~e necess\~aria a verifica\~c\~ao da flecha m\~axima de flex\~ao, presente na NBR 8800, conforme mostra a Tabela 16. N\~ao h\~a verifica\~c\~ao espec\~fica para vigas de p\~orticos rolantes, contudo como a norma geralmente assemelha os casos de p\~orticos com pontes rolantes,

observa-se a flexão vertical máxima para o caso de uma ponte rolante com mesma carga limite de serviço (inferior a 200 kN), neste caso, 1/600 do vão V .

Tabela 16 - Deslocamento máximo de vigas.

Descrição	δ_a
Deslocamento vertical para pontes colantes com capacidade nominal inferior a 200 kN	$\frac{V}{600}$

Fonte: (Adaptado de: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008).

A flexão calculada é dada pela Equação (9), onde obteve-se $\delta = 4,53$ mm, valor conferido através do programa *MDSolid*, conforme mostra a Figura 37. Visto que o deslocamento vertical calculado é inferior ao admissível, $\delta_a = 5,83$ mm, a viga atende aos requisitos de trabalho.

$$\delta = \frac{S \cdot V^3}{48 \cdot E \cdot I} \quad (9)$$

Onde:

δ - Flexão calculada

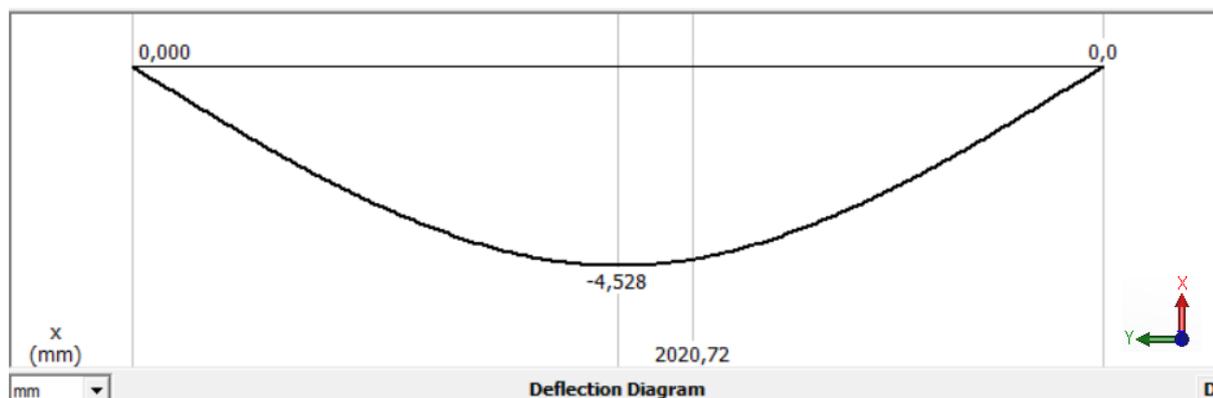
S - Solicitação total

V - Vão livre

E - Módulo de elasticidade

I - Momento de inércia

Figura 37 - Diagrama de deflexão da viga principal.



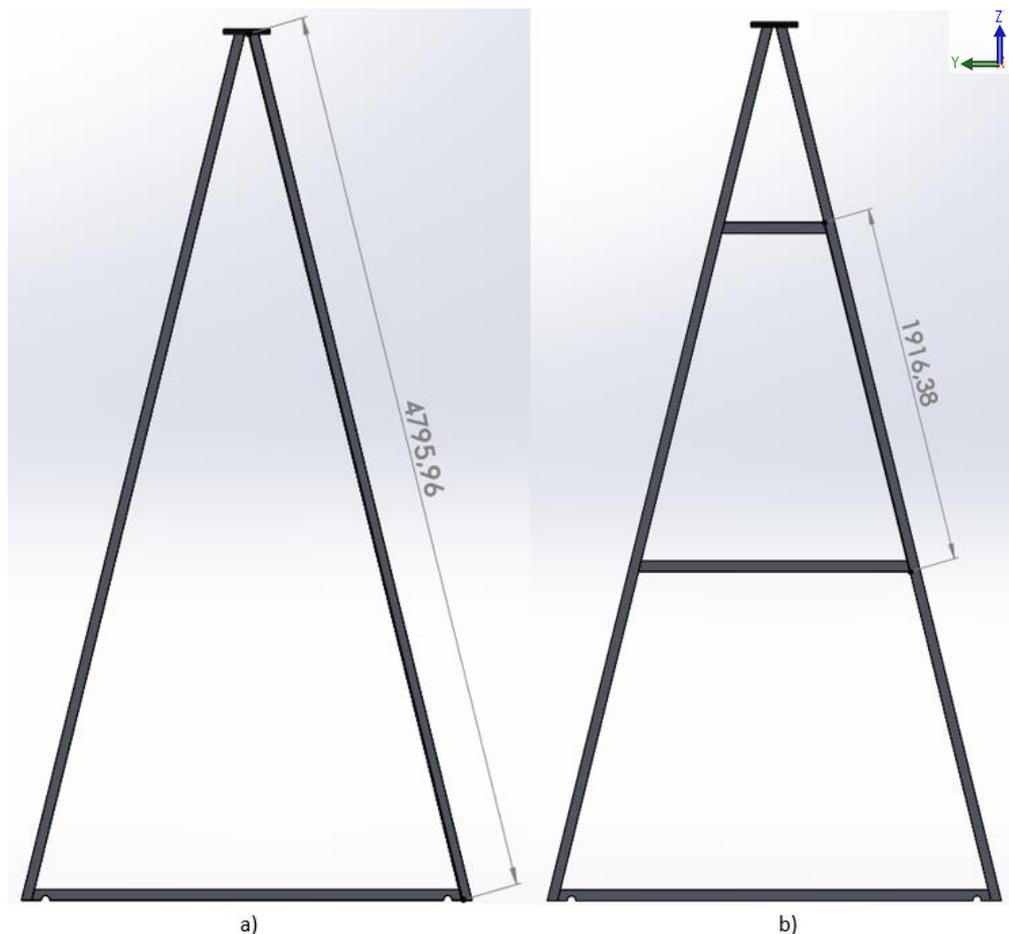
Fonte: (AUTOR, 2020).

4.3.7.5 Verificação da estrutura de sustentação

A verificação da estrutura de sustentação decorre principiante do risco de flambagem dessas estruturas, dado o caso de perfis longos que sofrem cargas de compressão. Para tal verificação a NBR 8400 aponta que os cálculos devem ser feitos baseados nos princípios da resistência de materiais incluindo os fatores de majoração já apresentados anteriormente.

Nesta seção, são avaliados três casos de flambagem, analisa-se inicialmente dois destes, para fazer referência a utilização de reforços entre os perfis laterais, no primeiro é considerando os perfis U em uma montagem sem perfis intermediários no centro da estrutura, Figura 38a, no segundo estes perfis intermediários são considerados conforme a Figura 38b.

Figura 38 - Vista lateral da estrutura de sustentação.



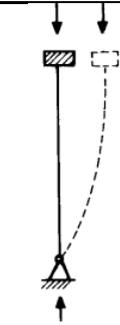
Fonte: (AUTOR, 2020).

Para essa análise então são considerados os maiores comprimentos de barra livre, desta forma para o primeiro caso $L_1 = 4,8$ m e para o segundo caso $L_2 = 1,92$ m. Ainda, considera-se

o coeficiente de flambagem (K) para determinar o comprimento de barra virtual. A Tabela 17 evidencia como cada caso deve ser considerado, neste trabalho utiliza-se os valores de projeto.

Desta forma, para o primeiro caso com $K = 0,65$, pois ambos os pontos de fixação não considerados soldados e permitem movimento ou translação, obtém-se $L_{fb1} = 3,133$ m, de forma semelhante, para o segundo caso com $K = 1$, como existe possibilidade, mesmo que pequena, de giro nos apoios a partir da própria deformação da peça, obtém-se $L_{fb2} = 1,92$ m.

Tabela 17 - Relação do coeficiente de flambagem.

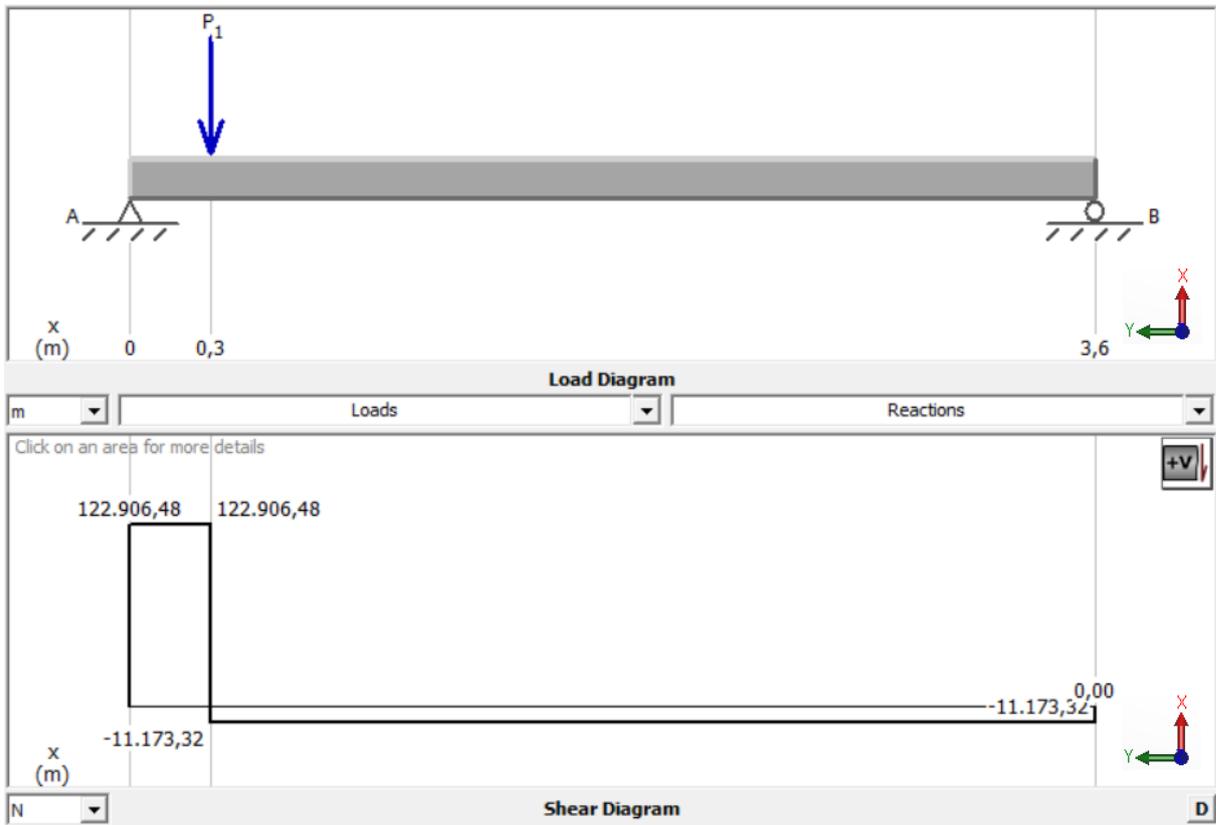
Tipo de fixação (a forma flambada é mostrada pela linha tracejada)			
Valor de projeto de K	0,65	1,0	2,0
Representação esquemática das condições de extremidade		Sem rotação e sem translação.	
		Com rotação e sem translação	

Fonte: (Adaptado de: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1984).

A determinação da carga máxima possível a atuar no tipo dos perfis, considerando condição de trabalho extrema, é feita seguindo os princípios do cálculo de reações de apoio de vigas da seção anterior. Como neste caso, a carga crítica é observada em um caso de elevação de carga descentralizada, o mais próximo de uma das estruturas de sustentação, atribui-se toda carga de trabalho (134079,8 N) atuando nominalmente a 0,3 metros de um apoio, afastamento considerado pelo tamanho do trole.

Desta forma, com distribuição de carga assimétrica, obtém-se o valor de $V_a = 12906,5$ N, valor confirmado através de verificação no software MDSolid, disponível na Figura 39. Desta maneira, como suporte é constituído elementarmente por dois perfis U, pode-se considerar que cada um destes sofre uma $P_{máx} = 61453,25$ N, em situação crítica de trabalho, considero a distribuição de forças somente nos perfis laterais.

Figura 39 - Diagrama de tensão cortante da viga principal, caso não uniforme.



Fonte: (AUTOR, 2020).

Dando continuidade, é necessário identificar qual a força máxima admissível, através da carga de flambagem, por cada uma das situações. Esta, pode ser calculada através da Equação (10), (HIBBELER, 2004).

$$P_{fb} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{K \cdot L} \quad (10)$$

Onde:

- P_{fb} - Carga de flambagem
- E - Módulo de elasticidade
- I - Momento de inércia
- K - Fator de flambagem
- L - Comprimento real

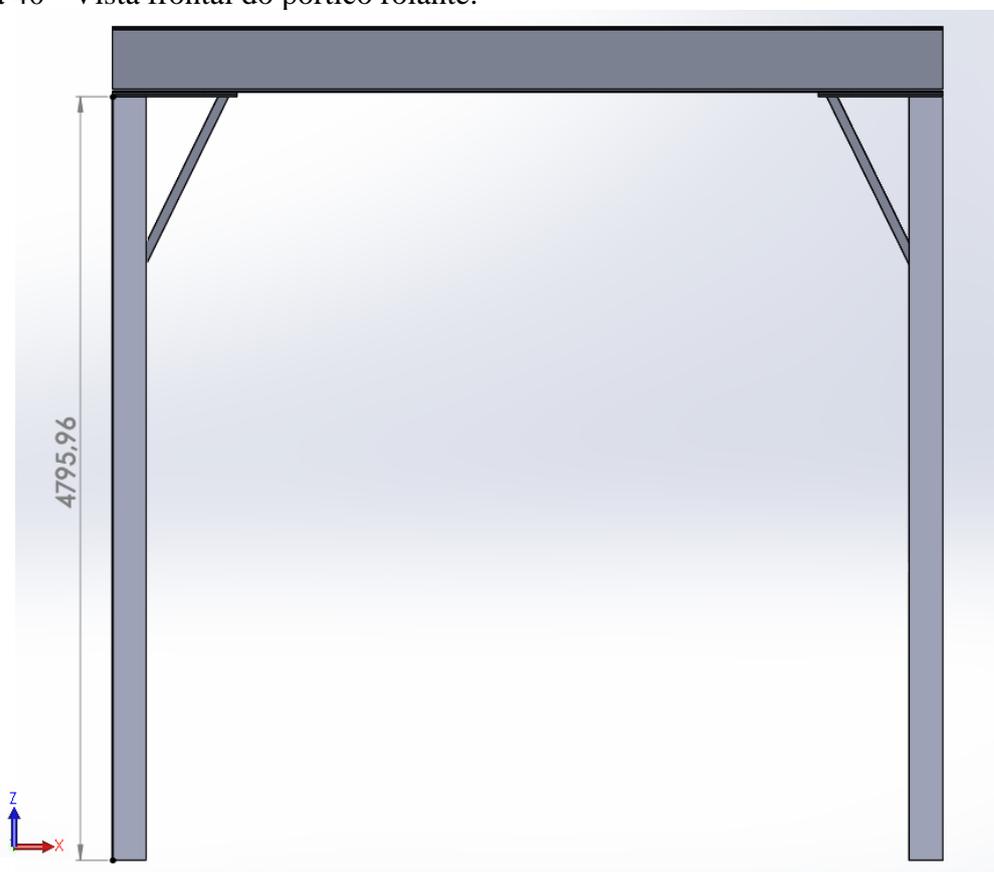
Para ambos os casos se utiliza do momento de inércia com valor inferior, $I_y = 54,1 \text{ cm}^4$, através desse cálculo obtém-se para o primeiro caso $P_{fb1} = 70716,3 \text{ N}$, valor muito próximo ao

máximo previsto, oferecendo coeficiente de segurança 1,15, por precaução e possíveis desbalanceamento de carga entre os perfis por fatores aqui não considerados optou-se por estabelecer o segundo caso.

Neste, também utilizando da Equação (10), obteve-se $P_{fb2} = 362105,0$ N, oferecendo um coeficiente de segurança 5,89, valor muito mais satisfatório, que garante segurança inclusive em casos adversos. Vale-se ressaltar que esse valor de carga só é válido para verificação de flambagem, não devendo ser considerado para outros fenômenos.

O terceiro caso é introduzido de forma a remeter a flambagem da estrutura de outra perspectiva de orientação, apresentada na Figura 40.

Figura 40 - Vista frontal do pórtico rolante.



Fonte: (AUTOR, 2020).

Para fim de esclarecimento, o Perfil Transversal não é considerado como ponto de fixação da barra por não estar diretamente ligado a mesma, admitindo uma situação mais crítica o que garante mais segurança no dimensionamento.

Desta forma, define-se $L_3 = 4,8$ m e considera-se o coeficiente de flambagem $K = 2$ a partir da Tabela 17, por conta da existência de um ponto fixo na parte superior e a liberdade de deslocamento do ponto inferior. Sendo assim, o comprimento de barra virtual é $L_{fb3} = 9,6$ m.

Para este caso utiliza-se o momento de inércia com valor superior, $I_x = 1344,3$ cm⁴, aplicando novamente da Equação (11), obtém-se $P_{fb3} = 576026,7$ N, valor muito superior ao máximo previsto para que ocorra a situação de flambagem, por conta disso, descarta-se a possibilidade de falha por fadiga desta forma.

Ainda, para o caso dos perfis U dispostos como estrutura de treliças, pode-se fazer uma verificação à solicitação normal dos mesmos. A partir da carga máxima atuando em um só dos perfis laterais, no valor de 61453,25 N, e da área de seção transversal, 21,68 cm², observável na Figura 29, obtém-se tensão normal de 28,346 MPa, valor bastante inferior ao admissível do material, 187,97 MPa.

4.3.7.6 Verificação da estrutura à fadiga

Também seguindo as recomendações da NBR 8400, a verificação a fadiga deve ser analisada considerando número de ciclos convencional de ciclos, material da peça e efeitos de entalhes, tensão máxima admissível, e relação entre as tensões máximas e mínimas.

Primeiramente, calcula-se a relação $R = \sigma_{min}/\sigma_{max}$, das quais a tensão mínima avaliada é a obtida para o pórtico rolante sem carga, considera-se somente o peso próprio e a ação do vento, onde $\sigma_{min} = 29,98$ MPa, e a tensão máxima avaliada é obtida com a carga máxima de serviço, onde $\sigma_{max} = 188,91$ MPa. Logo, obtém-se $R = 0,1586$.

Por conseguinte, determina-se a tensão constante alternada (σ_w), através da Tabela 18, tendo como entrada as informações de Grupo de classificação 2 (conforme a Tabela 11), Caso de furos máximo W₂, Caso de soldas máximo K₂, e material de aço 37 nN/mm², inferior e mais próximo dos materiais utilizados. Desta forma, opta-se pelo menor valor, caso de furos, de $\sigma_w = 168$ MPa.

Tabela 18 - Tensões constantes alternadas, em nN/mm².

Grupo de classificação	Elementos não soldados	Elementos soldados
		Aço 37 - W ₂
2	16,80	25,20

Fonte: (Adaptado de: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1984).

Após, faz-se necessário os cálculos de tensão para $R = 0$, $\sigma_0 = 1,66 \cdot \sigma_w$, quando a tensão mínima tende a zero, ou seja, a variação é a própria tensão aplicada. Também é necessário o cálculo para $R = +1$, $\sigma_{+1} = 0,75 \cdot \sigma_r$, quando a tensão mínima tende a tensão máxima, ou seja, a variação é a mais próxima de zero possível. Facilmente determina-se $\sigma_0 = 398,4$ MPa e $\sigma_{+1} = 300$ MPa, considerando o aço ASTM A36 que apresenta tensão de ruptura inferior.

Com base nisso, a partir do valor $R > 0$, utiliza-se da Equação (11), baseada em convergência de estudo empírico da NBR 8400, para a verificação de tensão admissível à fadiga.

$$\sigma_f = \frac{\sigma_0}{1 - \left(1 - \frac{\sigma_0}{\sigma_{+1}}\right) \cdot R} \quad (11)$$

Onde:

σ_f - Tensão de verificação à fadiga

σ_0 - Tensão de fadiga teórica para tensão mínima tendendo à zero

σ_{+1} - Tensão de fadiga teórica para tensão mínima tendendo à tensão máxima

R - Razão entre tensão mínima e máxima

Através desta, calcula-se $\sigma_f = 282,02$ MPa, valor superior as tensões resultantes das demais verificações, segundo a norma, isto significa que o dimensionamento não está condicionado pela fadiga, os casos de solicitação estão dentro do espaço conhecido como vida infinita. Portanto, o projeto não ultrapassa o limite de resistência à fadiga.

4.4 PROJETO DETALHADO

A última fase da macrofase de projeção, o projeto detalhado, caracteriza-se pela assertividade objetiva e técnica dos direcionamentos para a produção. Nesta etapa são produzidos grande parte da documentação do projeto enviada a chão de fábrica. No presente trabalho, faz-se análise numérica complementar, desenvolve-se os desenhos técnicos e destina-se orientações quanto a fabricação e montagem.

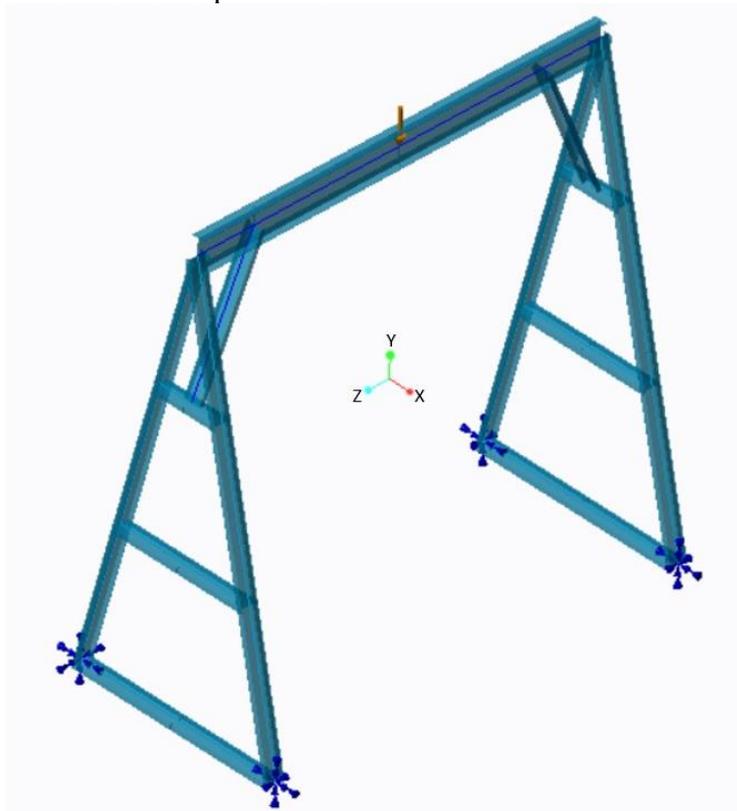
4.4.1 Análise numérica

De forma complementar, para fins de revisão dos resultados apresentados no dimensionamento da estrutura, opta-se por gerar uma simulação numérica para observar o comportamento da estrutura como um todo e avaliar elementos específicos com cálculo analítico inviável.

A principal observação dá-se sobre a peça 01.01.02.04 - Perfil U Transversal, que sofre esforços devido a deformação da estrutura. Para certificação do mesmo, é também avaliada uma concepção alternativa que busca verificar o quanto a angulação da peça influencia na deformação da estrutura e conseqüentemente nas tensões do Perfil Transversal. Também são observados os perfis Superior, Central e Inferior, contanto sem alterações de leiaute pois teoricamente prevê-se que são elementos pouco solicitados.

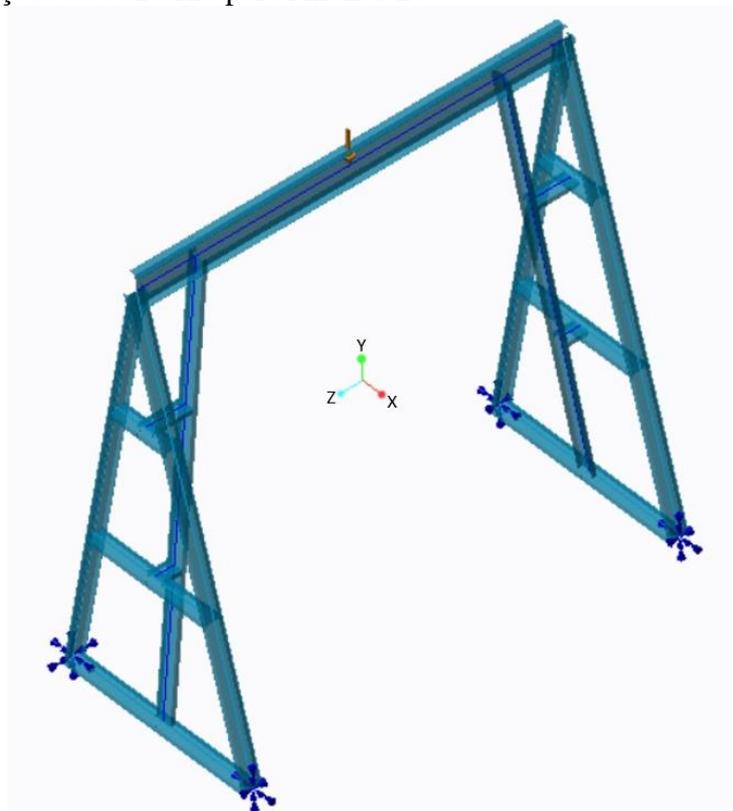
Inicialmente, ressalta-se como foi considerado o modelo com objetivo de representar de forma simplificada a estrutura modelada inicialmente. Para realização da análise utiliza-se de um croqui de linhas com comprimentos iguais as peças da modelagem 3D e a partir da ferramenta *Beam* presente no Software *PTC Creo*, faz-se a estrutura com as dimensões da secção dos perfis escolhidos. A Figura 41 – Condições de contorno para Análise A. apresenta o modelo da estrutura previamente determinada (Análise A) enquanto a Figura 42 apresenta a estrutura com variação do Perfil U Transversal (Análise B).

Figura 41 – Condições de contorno para Análise A.



Fonte: (AUTOR, 2020).

Figura 42 – Condições de contorno para Análise B.



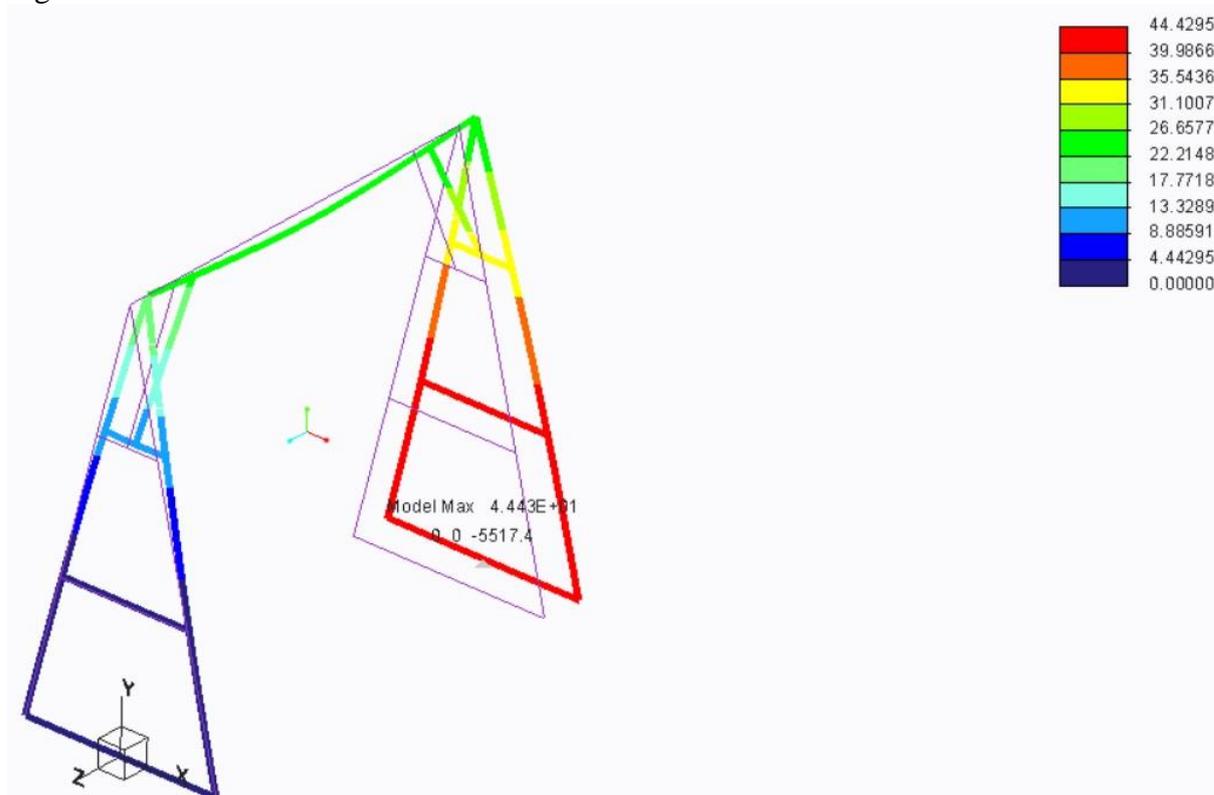
Fonte: (AUTOR, 2020).

Em relação as condições de contorno, ambas as análises os pontos de fixação são atribuídos nas extremidades das conexões entre o perfil lateral e o perfil inferior da seguinte forma: 1 ponto totalmente engastado e outros 3 pontos com liberdade de translação no eixo Z, simulando desta forma a permissividade à rolagem dos rodízios. A força atuante sobre a estrutura é posicionada exatamente ao centro da viga principal, com carga de 134079,8 N também para ambas as análises no sentido representado nas figuras. O material atribuído aos perfis C segue as características Aço ASTM A36 com $E = 200\text{GPa}$, $T_e = 250\text{MPa}$ e $T_r = 400\text{MPa}$. O material atribuído ao perfil I segue as características Aço ASTM A572 grau 50 com $E = 207\text{GPa}$, $T_e = 345\text{MPa}$ e $T_r = 450\text{MPa}$.

A geração de malha é feita de forma automática pelo software através de *Plotting Grid* definido como 10 níveis. Utiliza-se o método *Multi-Pass Adaptive* (MPA) para rodar a simulação, com máximo polinômio de grau igual a 9 e convergência de 10%.

São analisados os resultados do estudo quanto os deslocamentos totais e as tensões na estrutura a partir do critério de Von Mises. As Figura 43 e Figura 44 apresentam respectivamente as saídas de deslocamento para as Análise A e Analise B, unidade em milímetros.

Figura 43 - Deslocamentos totais Análise A.



Fonte: (AUTOR, 2020).

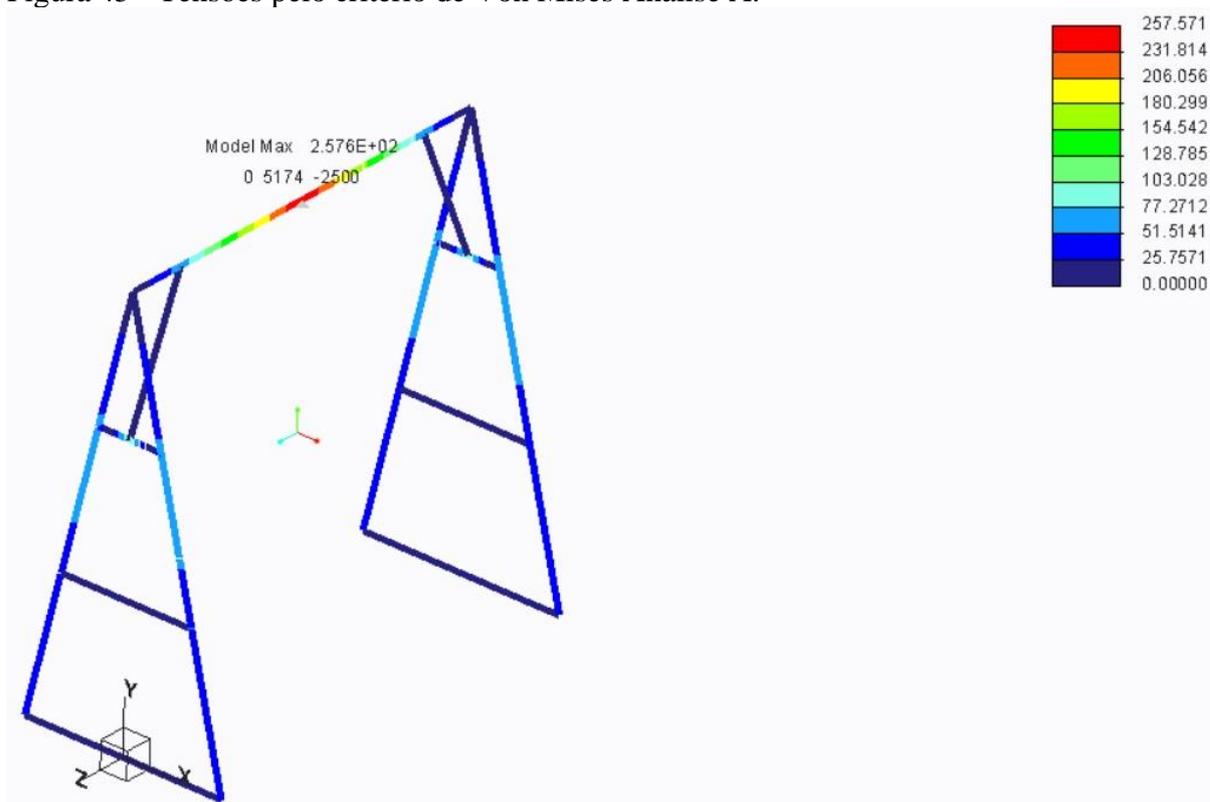
Figura 44 - Deslocamentos totais Análise B.



Fonte: (AUTOR, 2020).

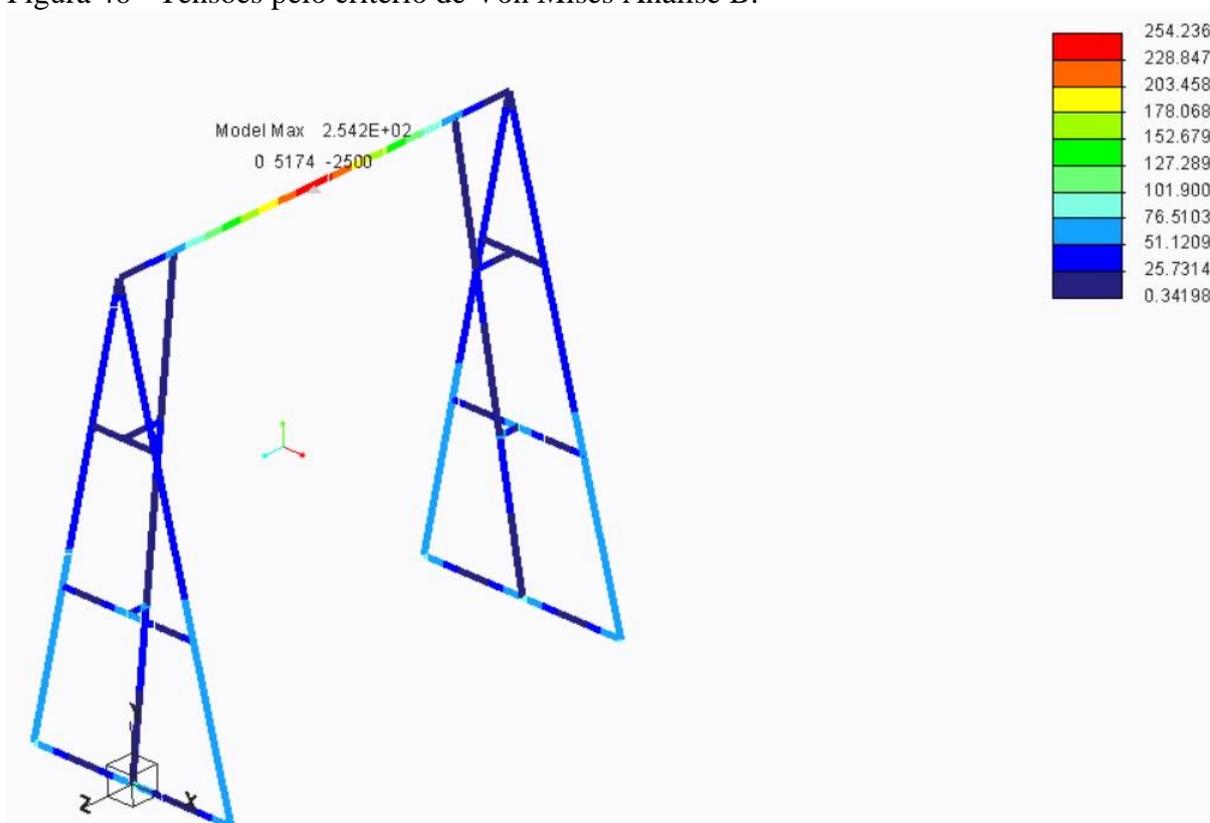
Os resultados representam que a alteração de leiante não influencia de forma significativa na deformação da estrutura, ponto que propicia a adesão da configuração previamente apresentada no trabalho por ainda necessitar de menos recursos materiais. Na sequência, Figura 45 e Figura 46, são observados os modelos de distribuição de tensão, unidade em MPa.

Figura 45 - Tensões pelo critério de Von Mises Análise A.



Fonte: (AUTOR, 2020).

Figura 46 - Tensões pelo critério de Von Mises Análise B.



Fonte: (AUTOR, 2020).

Os resultados apontam que não há diferenças significativas tanto na tensão máxima encontrada quanto na distribuição de tensões entre as Análises A e B, por conta disso mantém-se o leiaute definido nas secções anteriores com o perfil transversal ligado diretamente ao perfil superior. A tensão máxima encontrada para ambas as análises é superior à calculada analiticamente o que traz um ponto de atenção, mas ainda atende as tensões admissíveis σ_a definidas no capítulo anterior. Acredita-se que essa variação ocorra por conta de as análises numéricas considerarem os deslocamentos de toda estrutura enquanto os cálculos analíticos observam cada parte da estrutura de forma estática.

4.4.2 Desenhos técnicos

Representou-se os elementos presentes na Tabela 8 seguindo os princípios de desenhos técnicos nos âmbitos de perspectiva, cotagem, organização, norma, entre outros.

As folhas que compõem a documentação de desenhos técnicos do projeto do pórtico rolante estão presentes no Apêndice B.

4.4.3 Orientações de fabricação

A primeira consideração refere-se aos cortes dos perfis para posterior detalhamento das peças. Quanto ao perfil I, o mesmo já é requisitado com corte da métrica necessária, 5000 mm. Já quanto aos perfis U, seis barras de 6000 mm, foi feita a seguinte consideração com o tamanho necessário mínimo para fabricação de cada peça para melhor aproveitamento de material:

1 - Perfil Lateral de 4810 mm + Perfil Transversal de 1180 mm → Sobra de 10 mm

2 - Perfil Lateral de 4810 mm + Perfil Transversal de 1180 mm → Sobra de 10 mm

3 - Perfil Lateral de 4810 mm + Perfil Superior de 680 mm → Sobra de 510 mm

4 - Perfil Lateral de 4810 mm → Sobra de 1190 mm

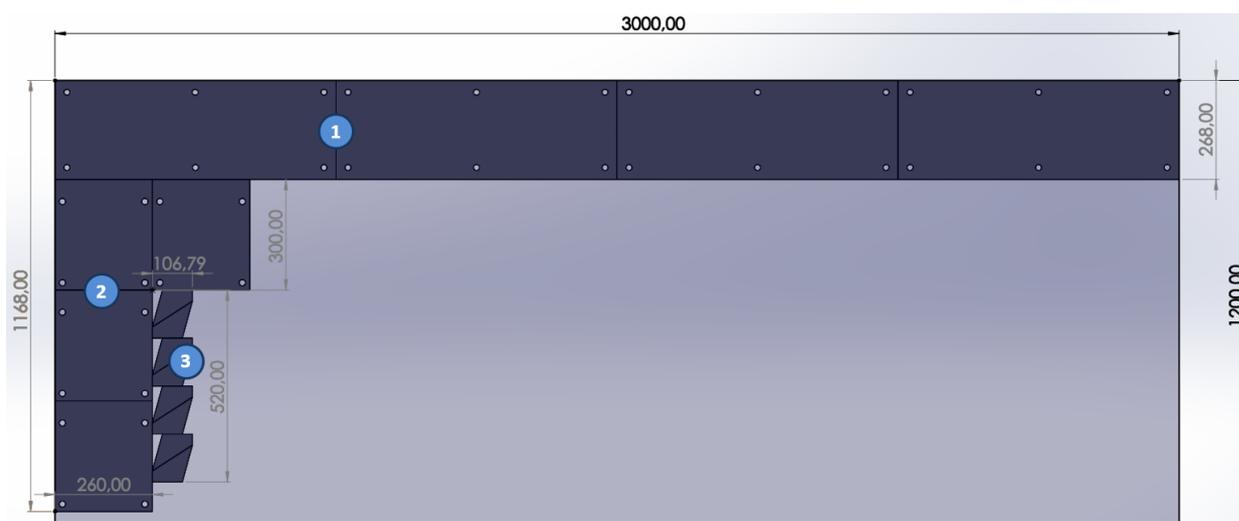
5 - Perfil Central de 1642 mm + Perfil Central de 1642 mm → Sobra de 2716 mm

6 - Perfil Inferior de 2608 mm + Perfil Inferior de 2608 mm + Perfil Superior de 680 mm → Sobra de 104 mm

Estes cortes podem ser realizados utilizando uma serra fita horizontal, equipamento presente nas dependências do NAFA. Os demais cortes e detalhamentos de cada uma dessas peças podem ser também ser feitos com os demais equipamentos no núcleo, fresadora, poli corte, entre outros.

Quanto aos cortes de chapa, aconselha-se a realização dos mesmos em uma mesa de corte plasma conforme as métricas apresentadas na Figura 47, em milímetros. As representações numéricas em balões 1, 2 e 3, correspondem respectivamente aos componentes 01.01.01.02, 01.01.02.06 e 01.01.02.07, cada qual com quantidade e métricas mais precisas apresentadas no Apêndice B deste trabalho. Os furos destes componentes podem ser realizados em uma furadeira fresadora, equipamento que a universidade dispõe.

Figura 47 - Instrução de corte da chapa de meia polegada.



Fonte: (AUTOR, 2020).

Também foram realizados os desenhos em formato .dxf, para facilitar a leitura de dimensões por diferentes máquinas CNC de interface própria, os mesmos são anexos digitais do projeto.

4.4.4 Orientações de montagem

Os processos de montagem utilizados nesse projeto são uniões permanentes realizadas por processo de soldagem e uniões não permanentes realizadas por processo de fixação através de elementos parafusados.

Por conseguinte, a partir das peças produzidas faz-se necessária a soldagem dos subconjuntos. Esse procedimento deve respeitar as determinações apontadas nos desenhos técnicos 01.01.01.00 e 01.01.02.00, Apêndice B, respectivamente subconjunto da viga principal e subconjunto da estrutura de sustentação. Trata-se de processo de soldagem com cordão e entalhes determinados na documentação supracitada.

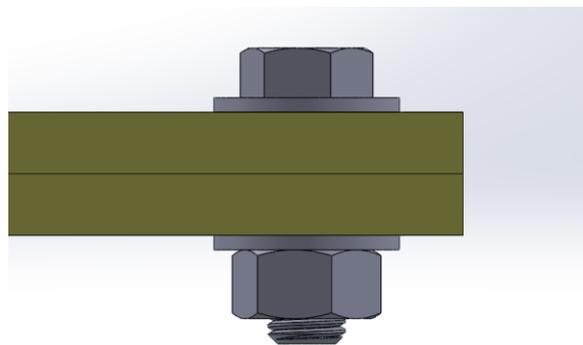
Inicialmente, as peças que serão montadas por processo de soldagem devem ser posicionadas em local nivelado, podendo ser uma bancada ou um gabarito de posicionamento com grampos de fixação. Após, as peças deverão ser soldadas utilizando processo de soldagem a arco elétrico com atmosfera de proteção gasosa (*Gas Metal Arc Welding* – GMAW) também conhecido como processo de soldagem MAG (*Metal Active Gas*), sendo que o consumível deverá ser o arame de solda ER70-S6 com diâmetro de 1,2 mm. Outra opção seria utilizar o processo de soldagem com eletrodo revestido (*Shielded Metal Arc Welding* – SMAW), sendo que o consumível deverá ser o eletrodo revestido E7018 ou 6013 com diâmetro de 2,5mm atendendo as normas *American Welding Society* (AWS). Outras opções de diâmetro de arame e eletrodo podem ser utilizadas conforme recomendações dos fabricantes ou fornecedores.

As definições gráficas ordenativas de soldagem dos desenhos técnicos devem ser seguidas de acordo com a NBR 7165: Símbolos gráficos de solda para construção naval e ferroviária, que abrange todas as simbologias aplicadas.

Após realizado o processo de soldagem, deve-se realizar o desengraxamento com solução desoleante em ambos os subconjuntos, uma demão de wash primer fundo fosfatizante com catalizador e duas demãos de tinta automotiva PU na cor amarela.

Por fim, prevê-se a montagem dos componentes 01.01.02.00 e 01.02.00.00, a estrutura de sustentação e o sistema de movimentação da estrutura (rodízios), cada rodízio fixado através de uma placa de quatro furos parafusada, com união semelhante ao esquema da Figura 48, porca e parafuso com duas arruelas lisas, sendo que o aperto dos parafusos deve ser feito de forma cruzada. Todos os apertos dos parafusos devem ser realizados com torque recomendado pelo fornecedor dos parafusos.

Figura 48 - Representação das uniões parafusadas.



Fonte: (AUTOR, 2020).

Em seguida, pode-se terminar de montar a estrutura, ou seja, unir os subconjuntos 01.01.01.00 e 01.01.02.00. Essa fixação é promovida por meio de seis uniões parafusadas análogas a da Figura 48, para cada uma das estruturas de sustentação, a ordem de aperto dos parafusos segue primeiramente os dois parafusos centrais e após aperto de forma cruzada. Para esse procedimento é imprescindível o uso de uma máquina de elevação auxiliar para elevação da viga principal, o levantamento deve ser realizado com auxílio de correntes, cabo de aço ou cintas de nylon com no mínimo dois pontos de contato.

Finalmente, com a estrutura montada e rígida, faz-se o acoplamento do sistema de movimentação de carga: talha, trole e periféricos. O processo de montagem de cada um desses componentes, abertura do trole e posicionamento sobre o trilho do perfil I deve ser feito conforme as recomendações do manual do fabricante do produto, advindo da empresa Polti.

5. CONCLUSÃO

Neste trabalho desenvolveu-se o projeto de um pórtico rolante, considerando toda a macrofase de projeção, de forma que o produto proposto viabilizasse a utilização desse equipamento para içamento, levantamento e descarga de transformadores de forma segura no pátio do INRI.

O projeto de pórtico rolante definido durante as etapas de projeto aqui executadas é composto por diferentes materiais, se definem sistemas de movimentação adquiridos e estrutura propriamente projetada, a partir de perfis e chapas metálicas em aço. Através dos subsistemas definidos é possível elevar, sustentar e mover a carga meta conforme descrito pelos requisitos de cliente.

Conforme proposto no decorrer do projeto, o pórtico rolante visa atender as necessidades específicas do INRI direcionando-se à garantia de segurança seguida de bom custo benefício, consequentemente, uma boa eficiência estrutural, obedecendo todos os limites previstos em norma. Além disso, por se tratar de um projeto de arquitetura modular, viabiliza-se ao cliente a possibilidade de alterações de determinados componentes, caracterizando aspectos de atratividade.

A estrutura foi projetada permitindo o acoplamento de diferentes troles, escolheu-se um perfil de viga que se adapta como trilho a grande parte dos equipamentos disponíveis no mercado. Ainda, o sistema de movimentação da estrutura é fixado através de uniões parafusadas dispostas em chapa que admite o acoplamento de diferentes modelos. Essas considerações viabilizam a substituição de componentes por motivos de detrimento ou até mesmo mudanças por conta de alteração de desejos do cliente. Contudo, ressalta-se que os componentes selecionados para arquitetura apresentada no trabalho são considerados adequados às atuais necessidades explanadas.

Ao analisar os objetivos específicos, ou metas, propostos nas seções iniciais deste trabalho, é possível verificar que os mesmos foram atingidos através das diversas etapas que compõem o trabalho. Foram estes, realizar a revisão bibliográfica, efetuar pesquisa sobre sistemas, determinar e classificar os requisitos, elaborar concepções, determinar a configuração, realizar os cálculos de verificação, elaborar as listas de materiais e de componentes, modelar digitalmente a estrutura e desenvolver os desenhos técnicos.

Contudo, ressalta-se que o estudo se trata de um trabalho acadêmico e que os envolvidos não possuem responsabilidade técnica junto ao CREA. Ainda, lembra-se que antes da

construção da estrutura análises estruturais mais detalhadas devem ser realizadas, além de testes e avaliações experimentais, mandatórios após a fabricação.

Por fim, considera-se que o objetivo geral do trabalho foi contemplado, oferecendo às dependências do INRI o projeto de um pórtico rolante de acionamento elétrico com capacidade de 10 (dez) toneladas, vão útil de 3,5 metros e altura útil de 4,1 metros que poderá ser utilizado para promover carga e descarga de transformadores da carroceria de caminhões comerciais, desejo do cliente.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuros, que permitam complementar o estudo aqui realizado, pode-se elencar as seguintes sugestões:

- Construção do pórtico rolante para movimentação de transformadores no Instituto de Redes Inteligentes (INRI). Para isso, será necessário adquirir os materiais definidos neste projeto e realizar o processo de construção.
- Validação experimental do pórtico rolante realizando aquisições de deformação com extensômetros nos pontos críticos da estrutura do pórtico rolante após sua construção. Esses resultados poderão ser comparados com os resultados numéricos deste projeto.
- Otimização estrutural com base nos resultados obtidos com a validação experimental e resultados numéricos.
- Realizar uma Análise de Modos Falhas e Efeitos (*Failure Mode and Effect Analysis - FMEA*) tanto no produto pórtico rolante como no processo de movimentação dos transformadores.

REFERÊNCIAS

- AKY. **Por que a maioria dos carros usa disco de freio na frente e tambor atrás?** 2018. Disponível em: <<http://colson.com.br/rodizios/serie-12-placa-borracha-termoplastica-bp-fp/>>. Acesso em: 06 jul. 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123:** Forças devidas ao vento em edificações. ABNT, Brasil, 1988.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8400:** Cálculo de equipamento para levantamento e movimentação de cargas. ABNT, Brasil, 1984.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800:** Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. ABNT, Brasil, 2008.
- AUTOMOTION. **Cremalheiras e pinhões.** 2017. Disponível em: <<https://www.automotion.com.br/produtos/cremalheiras-e-pinhoes>>. Acesso em: 07 jul. 2020.
- BARDELLA, F. et al. **Pórticos Sistemas de Movimentação e Transporte.** Centro Universitário Católica Salesiano Auxilium, Araçatuba, São Paulo, Brasil, 2019.
- BAXTER, M. R. **Projeto de produto:** guia prático para o design de novos produtos. Tradução de Itiro Iida 3. ed. São Paulo: Blucher, Brasil, 2011.
- BERG. **Locação de talha.** 2020. Disponível em: <<https://talha.site/talha-em-cuiaba-mt/>>. Acesso em: 07 jul. 2020.
- BRASIL, H. V. **Máquinas de Levantamento.** Editora Guanabara Dois S.A, Rio de Janeiro, Brasil, 1985.
- BRASS, R. **Pórtico móvel manual.** 2016. Disponível em: <<https://www.logismarket.ind.br/varejao-de-maquinas/portico-movel-manual-5-t-vdm53036/9202650368-p.html#supplier-info>>. Acesso em: 06 jul. 2020.
- DOIS DEZ. **Troles para trilho.** 2020. Disponível em: <<https://doisdez.com.br/produtos/troles-para-trilho/>>. Acesso em: 07 jul. 2020.
- CABLEMAX. **Moitão cadernal.** 2010. Disponível em: <<http://www.cabosdeacocablemax.com.br/moitao-cadernal.html>>. Acesso em: 06 jul. 2020.
- COLSON. **Série 12 placa.** 2017. Disponível em: <<http://colson.com.br/rodizios/serie-12-placa-borracha-termoplastica-bp-fp/>>. Acesso em: 06 jul. 2020.
- CSM. **Guinchos Elétricos de Cabo de Aço TEC com Trole Elétrico.** 2020. Disponível em: <<https://www.csm.ind.br/maquinas/produto/guinchos-eletricos-de-cabo-de-aco-tec-com-trole-eletrico/>>. Acesso em: 07 jul. 2020.
- CSM. **Troles manuais.** 2017. Disponível em: <<https://www.csm.ind.br/maquinas/produto/troles-manuais/>>. Acesso em: 07 jul. 2020.

DÜREN. **Pórtico Rolante**. 2014. Disponível em: <<https://www.duren.com.br/portico-rolante>>. Acesso em: 05 fev. 2020.

FERRO. **Pórtico rolante viga dupla com garantia de segurança, funcional e resistente**. 2020a. Disponível em: <<https://www.ferroindustria.com.br/portico-rolante-viga-dupla>>. Acesso em: 28 abr. 2020.

FERRO. **Pórtico rolante viga única para o transporte de cargas e materiais com agilidade e segurança**. 2020b. Disponível em: <<https://www.ferroindustria.com.br/portico-rolante-viga-unica>>. Acesso em: 28 abr. 2020.

FERRO. **Semi pórtico rolante para operações em diversos segmentos**. 2020c. Disponível em: <<https://www.ferroindustria.com.br/semi-portico-rolante>>. Acesso em: 28 abr. 2020.

GAREN. **Central TSI**. 2018. Disponível em: <<https://www.garen.com.br/produtos/central-tsi>>. Acesso em: 12 jul. 2020.

GENEROSO, D. J. **Elementos de Máquinas**. Apostila, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Araranguá, Brasil, 2009.

GERDAU. **Catálogo de produtos**. 2006. Disponível em: <<https://www.slideshare.net/almeidafs/catalogo-tecnico-gerdau>>. Acesso em: 14 jul. 2020.

GERDAU. **Perfil I e U**: Gerdau. Catálogo, Brasil 2015.

GERDAU. **Perfil I**. 2019a. Disponível em: <<https://www2.gerdau.com.br/produtos/perfil-i-gerdau>>. Acesso em: 14 jul. 2020.

GERDAU. **Perfil U**. 2019b. Disponível em: <<https://www2.gerdau.com.br/produtos/perfil-u-gerdau>>. Acesso em: 14 jul. 2020.

GERDAU. **Perfis estruturais Gerdau**: Tabela de bitolas. Catálogo, Brasil, 2017.

GOLLYN. **Chaves e sinalizadores**. 2017. Disponível em: <<https://mollyn.com.br/componentes/chaves-e-sinalizadores>>. Acesso em: 12 jul. 2020.

HIBBELER R. C. **Resistência dos materiais**. Tradução de Joaquim Pinheiro da Silva, 5. ed. Pearson Prentice Hall, São Paulo, Brasil, 2004.

KBB. **Quais são os tipos de discos de freio que existem?** 2018. Disponível em: <<http://colson.com.br/rodizios/serie-12-placa-borracha-termoplastica-bp-fp/>>. Acesso em: 06 jul. 2020.

KITO. **Troles e talhas manuais**. 2013. Disponível em: <https://www.kito.com.br/products/manual_hoist/pdf/CBLBKDB1203-03.pdf>. Acesso em: 07 jul. 2020.

KRUGLIANSKAS, I. **Engenharia simultânea: organização e implantação em empresas brasileiras.** Simpósio Nacional de Gestão da Inovação Tecnológica, Anais, USP, Paulo, Brasil, 1992.

LANGUI, C. A. **Pontes Rolantes - A importância do equipamento nas áreas de produção industrial.** Monografia (MBA em Gerência Empresarial), Departamento de Economia, Contabilidade, Administração e Secretariado, Universidade de Taubaté, Taubaté, Brasil, 2001.

LEROY MERLIN. **Corrente Elo Reto 7mm.** 2020. Disponível em: <https://www.leroymerlin.com.br/corrente-elo-reto-7mm-ate-600kg-aco-carbono-2m_89300190>. Acesso em: 06 jul. 2020.

LORENZI R. T. **Dimensionamento estrutural de um pórtico rolante para levantamento de cargas de até 10 toneladas.** Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Mecânica), UNIVATES, Taquari, Rio Grande do Sul, Brasil, 2018.

MAUSA. **Pórticos Rolantes Sobre Pneus.** 2019. Disponível em: <<https://mausa.com.br/porticos-sobre-pneus.php>>. Acesso em: 06 jul. 2020.

NASSAR, W. R. **Apostila de Máquinas de Elevação e Transporte.** Universidade de Santa Cecília, São Paulo, Brasil, 2004.

PAHL, G. et al. **Projeto na engenharia: fundamentos do desenvolvimento eficaz de produtos, métodos e aplicações.** 1. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2005.

PASSOS, L. C. **Técnicas de instalação, operação, manutenção testes e inspeção: pontes rolantes, guindastes giratórios e acessórios de movimentação de cargas.** Apostila Make Engenharia, Brasil, 2011.

PNGWING. **Mãos, desenho, palma.** 2020a. Disponível em: <<https://www.pngwing.com/pt/free-png-yrcw>>. Acesso em: 12 jul. 2020.

PNGWING. **Olho computador.** 2020b. Disponível em: <<https://www.pngwing.com/pt/free-png-yehgd>>. Acesso em: 12 jul. 2020.

REMOR, G. S. **Projeto conceitual de um pórtico rolante para movimentação de pallets.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica), FAHOR, Horizontina, Rio Grande do Sul, Brasil, 2012.

RIBEIRO, F. J. G. **Dimensionamento de um pórtico rolante.** Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2011.

ROCE. **Ponte/pórtico rolante 5 ton.** 2019. Disponível em: <https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1182582534-porticoponte-rolante-5-ton-43m-de-trilho-semi-nova-_JM>. Acesso em: 06 jul. 2020.

ROMAN. **Cinta para ponte rolante.** 2014. Disponível em: <<http://www.cabosdeacocablemax.com.br/moitao-cadernal.html>>. Acesso em: 06 jul. 2020.

ROMANO, L. N. **Desenvolvimento de máquinas agrícolas**: planejamento, projeto e produção. São Paulo: Blucher Acadêmico, Brasil, 2013.

ROZENFELD, H. et al. **Gestão de desenvolvimento de produtos**: uma referência para a melhoria do processo. 1. ed. São Paulo: Saraiva, Brasil, 2006.

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

SCHIOPPA. **Catálogo geral**: rodas e rodízios. Schioppa. Catálogo, São Paulo, Brasil, 2017.

SEYCONEL. **Controle remoto Alpha 608XS**. 2016. Disponível em: <<https://seyconel.com.br/produtos/controle-remoto-alpha-608xs/>>. Acesso em: 12 jul. 2020.

SHIGLEY, J. E.; MISCHKE, C. R.; BUDYNAS, R. G. **Projeto de Engenharia Mecânica**. 7. ed. Editora Bookman, São Paulo, Brasil, 2005.

TAMASAUSKAS, A. **Metodologia do Projeto Básico de Equipamento de Manuseio e Transporte de Cargas – Ponte Rolante – Aplicação não siderúrgica**. Dissertação de mestrado, Escola Politécnica de São Paulo, São Paulo, 2000.

TCS. **Cabo de aço 5/16" 6 x 36 AFP**. 2020. Disponível em: <http://www.lojatcs.com.br/CABO_DE_ACO_5_16__6_x_36_AFP/prod-5494409/>. Acesso em: 07 jul. 2020.

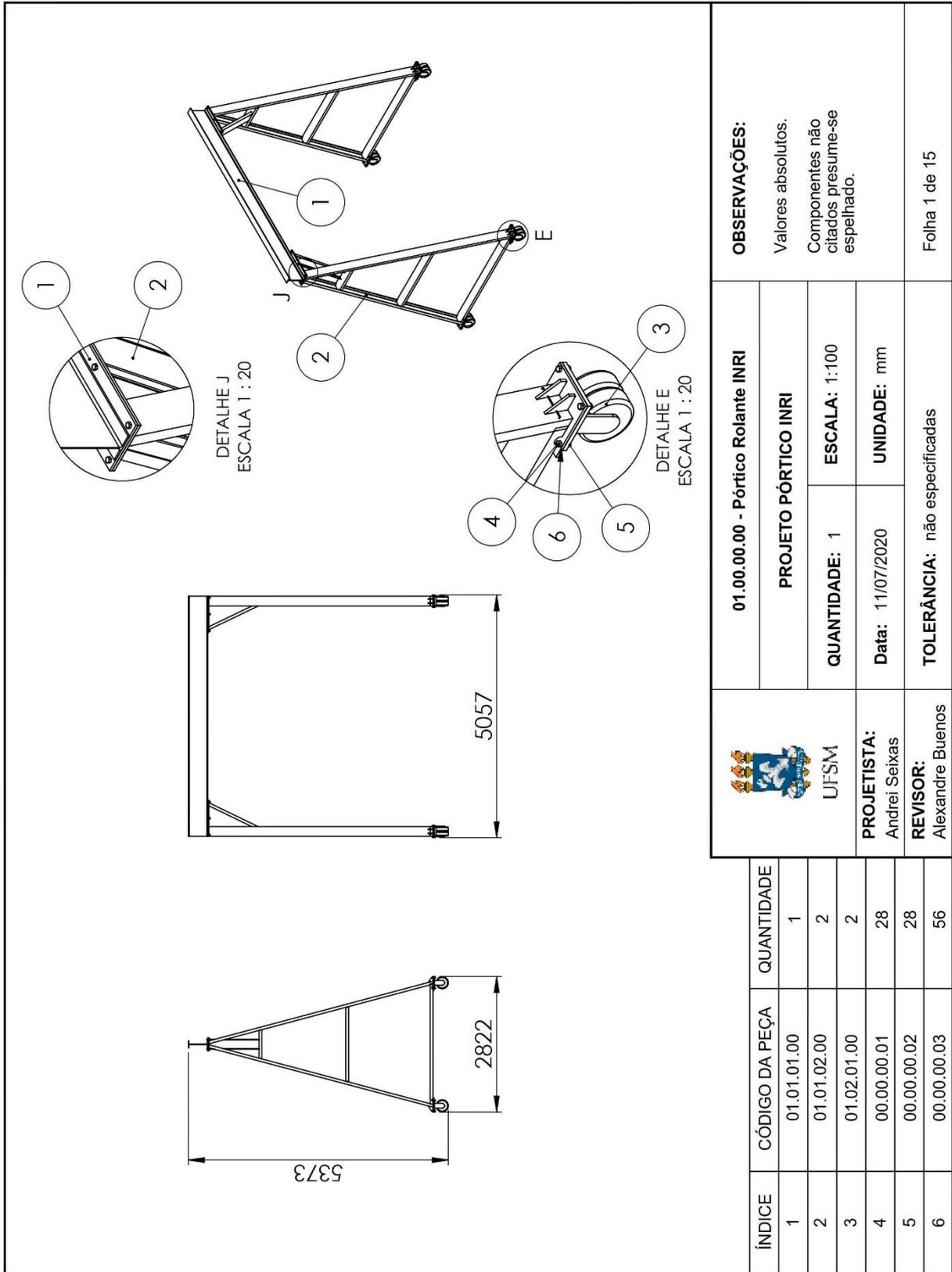
WERC. **Pontes rolantes e pórticos**. 2018. Disponível em: <<http://wercdobrasil.com.br/pontes-rolantes-e-porticos/>>. Acesso em: 17 mar. 2020.

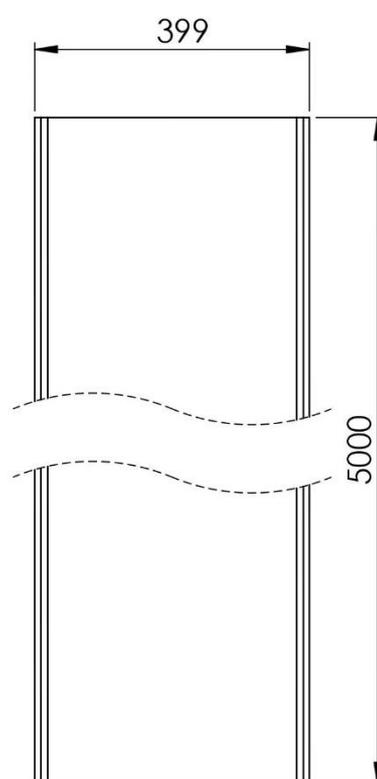
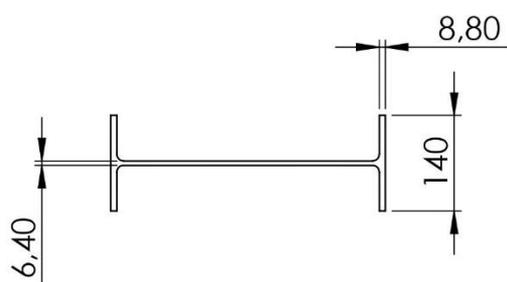
XAGA. **Botoeira pendente plástica**. 2006. Disponível em: <<https://www.se.com/br/pt/product/XACA4913/botoeira-pendente-plastica-4-botoes-2-velocidades-emergencia/>>. Acesso em: 12 jul. 2020.

APÊNDICE A – QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT (QFD)

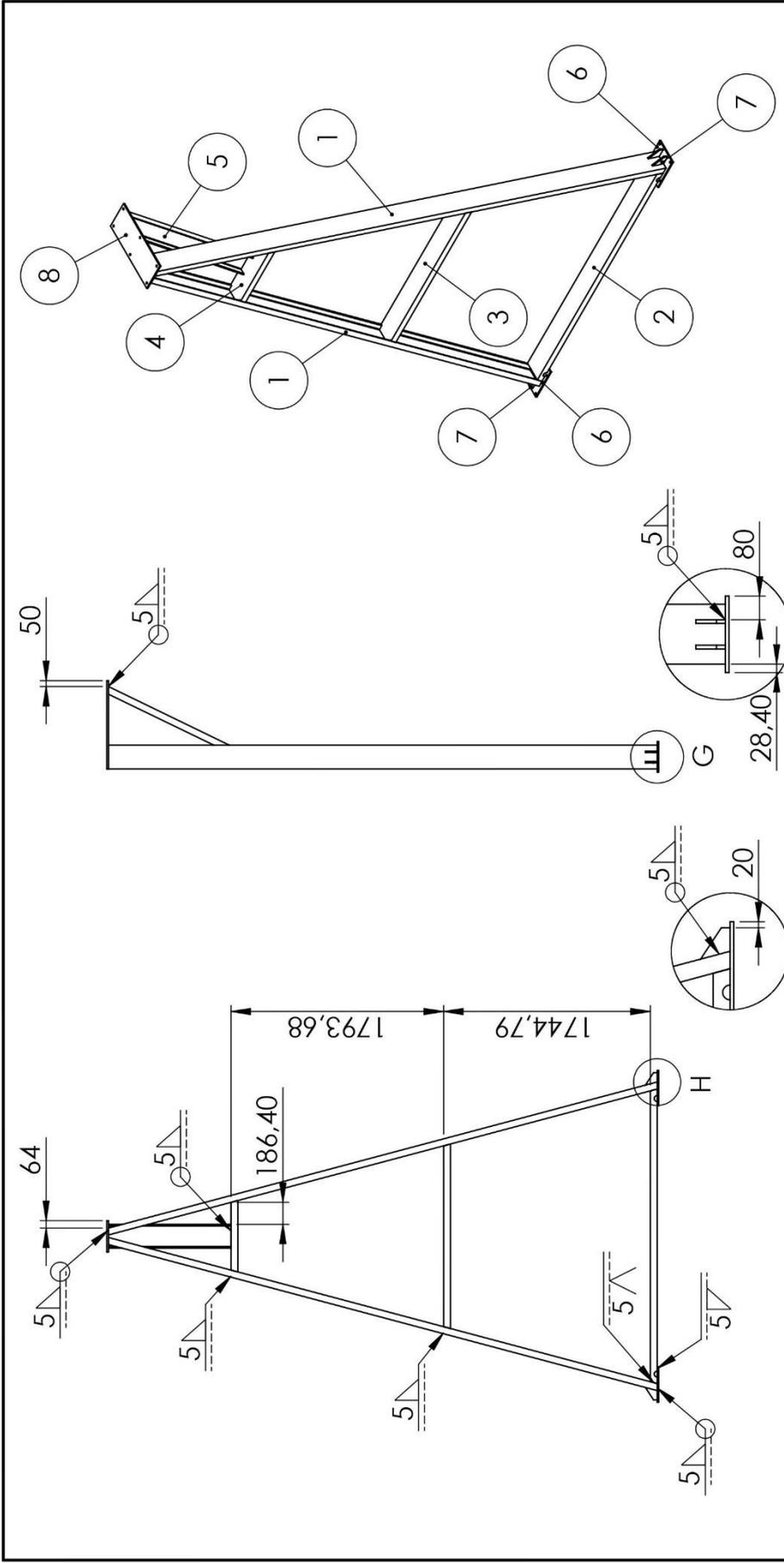
Grau de Relação (gr)		Requisitos de Projeto																					Valorização Absoluta	Valorização Absoluta
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21		
Nº	Requisitos de Cliente	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	VA	%
1	Oferecer estrutura rígida e estável.	●	●		○	○	○	○	○				●				◇				○	◇	63	12,40%
2	Possibilitar acionamento da talha elétrica.	○		●	○																		52	10,24%
3	Possibilitar acionamento do trole.	◇		●		○	○	◇										◇					36	7,09%
4	Ter viga dentro das dimensões de troles comerciais.				◇		●	●															41	8,07%
5	Possuir dimensões maiores que a largura de caminhões comerciais.					●							◇			○						◇	39	7,68%
6	Possuir altura que permita carga e descarga do maior transformador.				●								◇			○						◇	38	7,48%
7	Possuir sistema de fim de curso do trole.					○								◇				◇					8	1,57%
8	Possuir sistema contra quedas abruptas.									◇		○		◇									31	6,10%
9	Possuir sistema de freios para estrutura.									●	○	○		◇		◇					○		21	4,13%
10	Não oferecer risco aos operadores.	○	○	◇	◇	◇				●	◇	●	●					◇					68	13,39%
11	Garantir alto aproveitamento das propriedades dos materiais.		◇		◇	◇			◇							○						○	9	1,77%
12	Ter simples manutenção.				◇				◇					○	●			◇		◇			3	0,59%
13	Ter processo de fabricação simples.				◇				◇					○	○	○	●		◇				0	0,00%
14	Não possibilitar interferências entre estrutura e sistema de movimentação.				◇	◇	◇	◇	◇			◇		◇				●				◇	20	3,94%
15	Permitir o acoplamento de um número diferente de troles e talhas.					◇	●	○								◇		○					6	1,18%
16	Permitir acesso para manutenção do sistema de movimentação.				◇							◇		◇	●			○		◇			7	1,38%
17	Possuir resistência à corrosão.															○		◇	●	○			18	3,54%
18	Possuir resistência à poeira.															◇			●	◇			6	1,18%
19	Ter vida útil longa.	◇	◇											◇	◇	○	◇		●	●			27	5,31%
20	Ter dispositivo que auxilie a movimentação do pórtico.										○			◇		○					●		11	2,17%
21	Possuir massa relativamente baixa.				○	○	○	○	◇				◇			◇			◇		◇	●	4	0,79%
		Requisitos de Projeto Hierarquizados																						
Valor de Importância Absoluto		738	555	508	695	631	564	480	225	476	164	523	736	134	77	526	27	272	259	394	142	187		
Classificação de Importância		1º	6º	9º	3º	4º	5º	10º	15º	11º	17º	8º	2º	19º	20º	7º	21º	13º	14º	12º	18º	16º		

APÊNDICE B – DESENHOS TÉCNICOS DO PROJETO





 UFSC	01.01.01.01 - Viga Principal Perfil I		OBSERVAÇÕES: Gerdau Perfil I W410X38,8 399mm x 140mm x 5000mm Raios não especificados: 10 mm
	PROJETO PÓRTICO INRI		
	QUANTIDADE: 1	ESCALA: 1:10	
PROJETISTA: Andrei Seixas	Aço A572 Grau 50	UNIDADE: mm	Folha 3 de 15
REVISOR: Alexandre Buenos	Data: 25/04/2020	TOLERÂNCIA: não especificadas	



ÍNDICE	CÓDIGO DA PEÇA	QUANTIDADE
1	01.01.02.01	2
2	01.01.02.02	1
3	01.01.02.03	1
4	01.01.02.04	1
5	01.01.02.05	1
6	01.01.02.06	2
7	01.01.02.07	4
8	01.01.01.02	1

DETALHE H
ESCALA 1 : 20

DETALHE G
ESCALA 1 : 20

UFSC

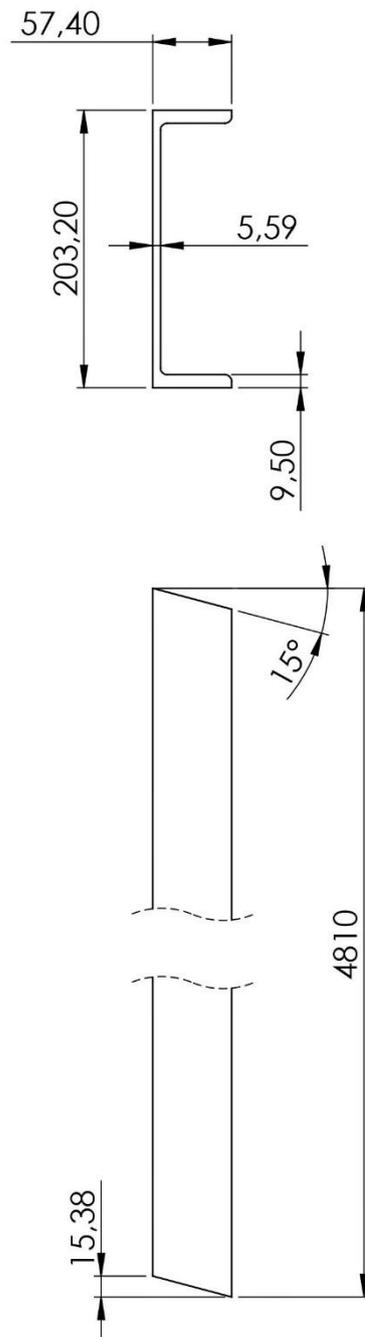
PROJETISTA:
Andrei Seixas

REVISOR:
Alexandre Buenos

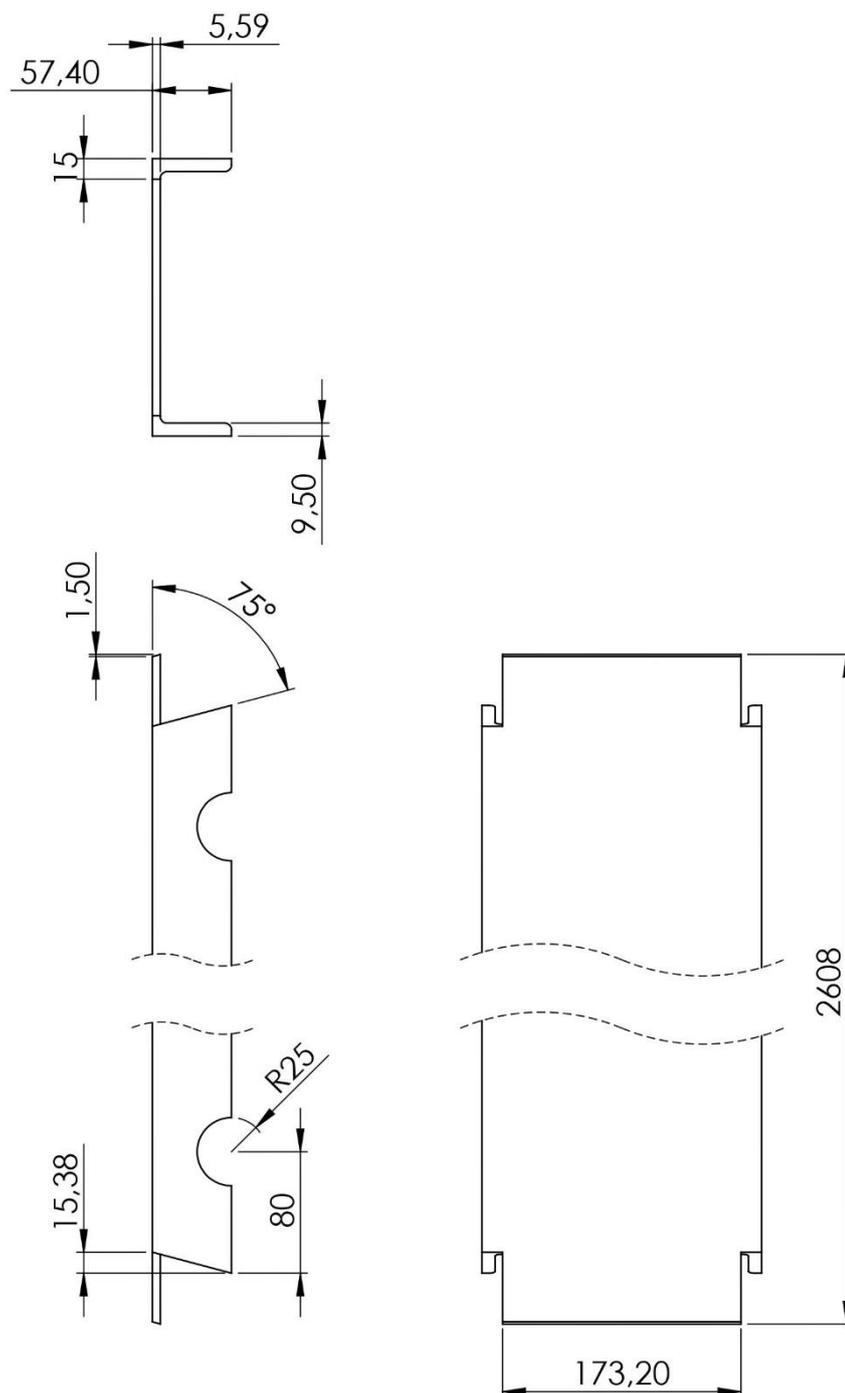
01.01.02.00 - Subconjunto da Estrutura de Sustentação	
QUANTIDADE: 2	ESCALA: 1:50
Data: 11/07/2020	UNIDADE: mm
TOLERÂNCIA: não especificadas	

OBSERVAÇÕES:
Soldas e medidas representadas apenas em um dos lados, fabricar de forma análoga no lado oposto.

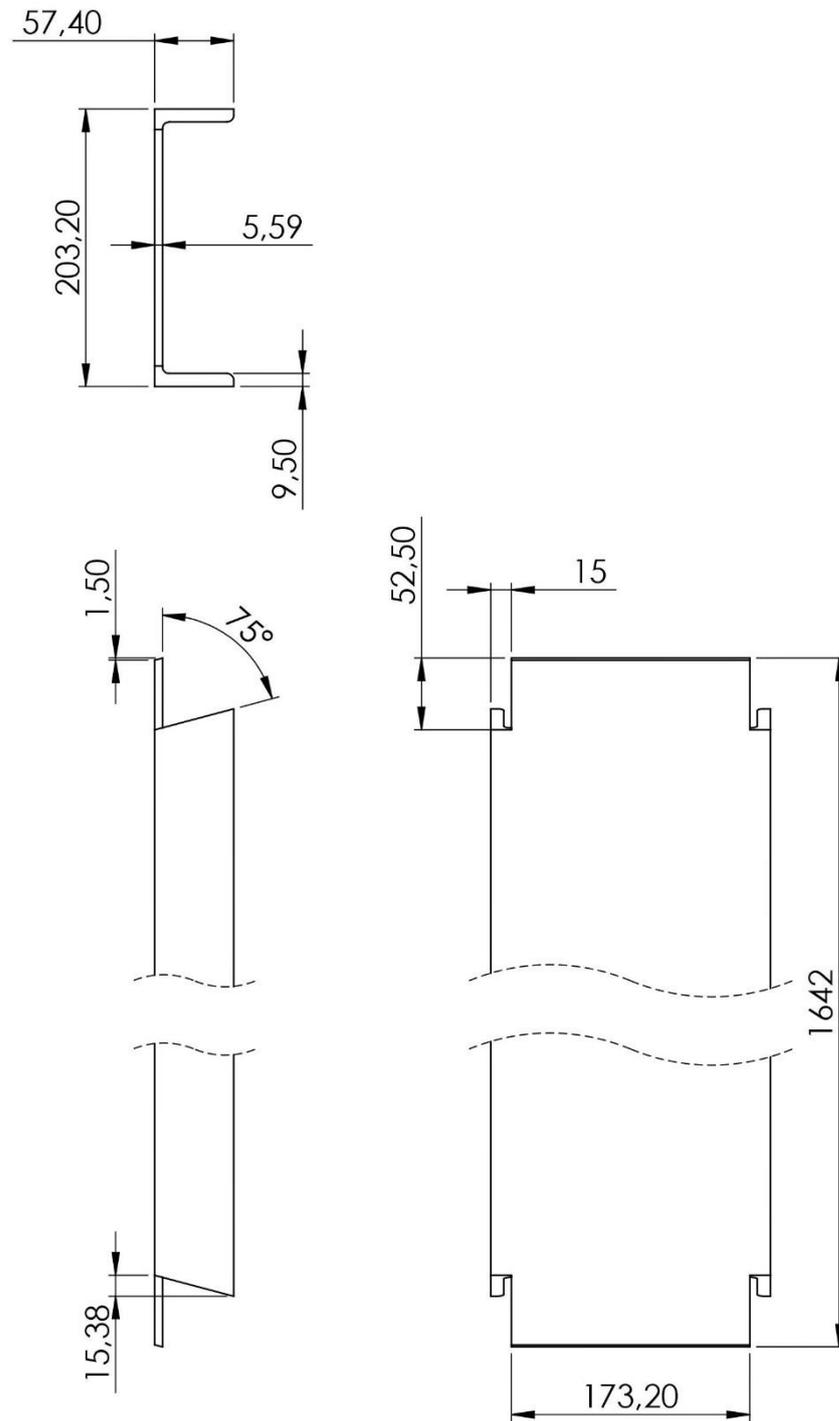
Desengraxamento com solução desoleante, uma demão de wash primer fundo fosfatizante e duas demãos de tinta automotiva PU na cor amarela.



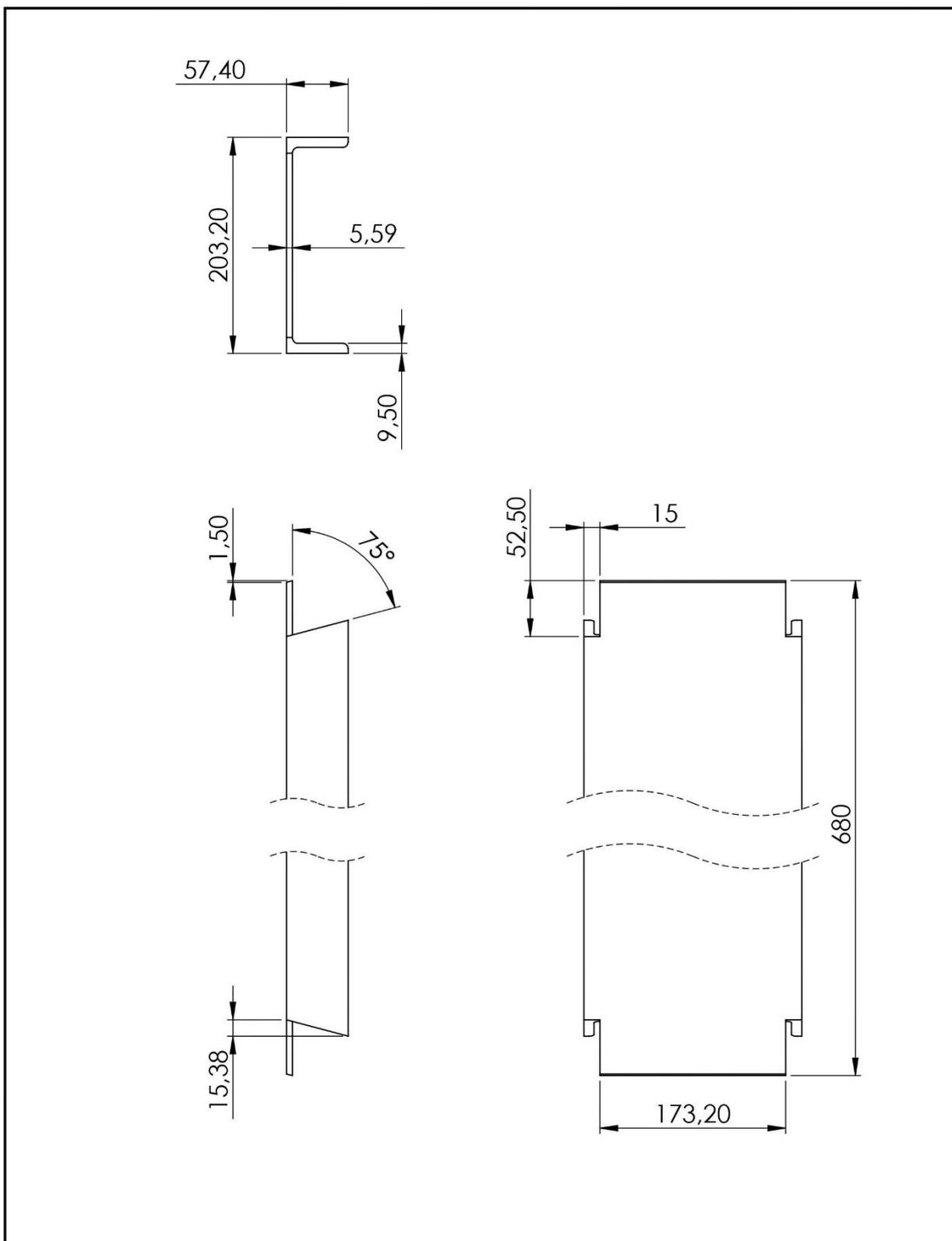
 UFSC	01.01.02.01 - Perfil U Lateral		OBSERVAÇÕES: Gerdau Perfil U 203,2mm x 5,59mm x 4810mm Raios não especificados: 5 mm
	PROJETO PÓRTICO INRI		
	QUANTIDADE: 4	ESCALA: 1:5	
PROJETISTA: Andrei Seixas	Aço ASTM A36	UNIDADE: mm	Folha 6 de 15
REVISOR: Alexandre Buenos	Data: 25/04/2020	TOLERÂNCIA: não especificadas	



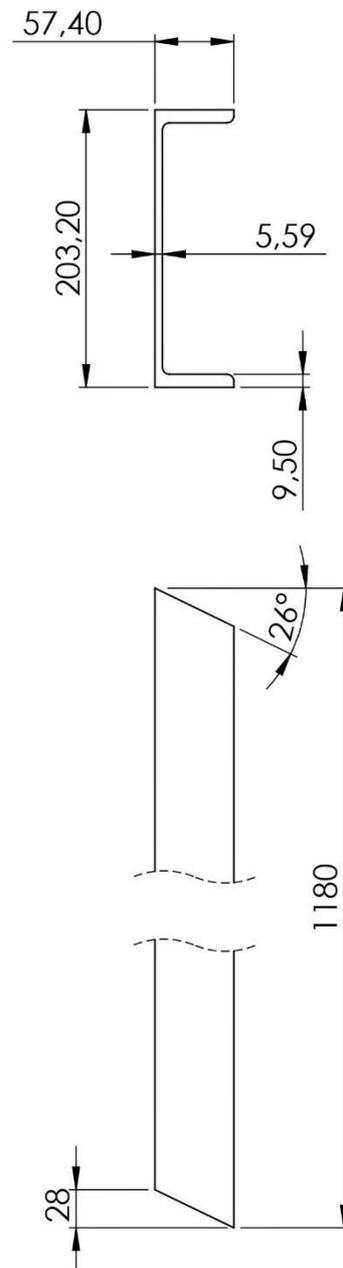
 UFMS	01.01.02.02 - Perfil U Inferior		OBSERVAÇÕES: Gerdau Perfil U 203,2mm x 5,59mm x 2503mm Raios não especificados: 5 mm
	PROJETO PÓRTICO INRI		
	QUANTIDADE: 2	ESCALA: 1:5	
PROJETISTA: Andrei Seixas	Aço ASTM A36	UNIDADE: mm	Folha 7 de 15
REVISOR: Alexandre Buenos	Data: 25/04/2020	TOLERÂNCIA: não especificadas	



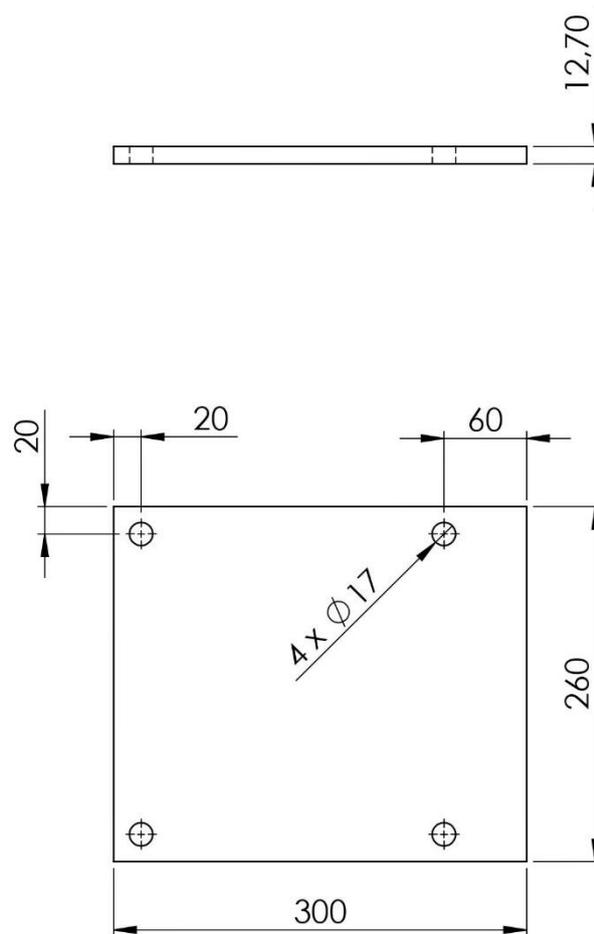
 UFESM	01.01.02.03 - Perfil U Central		OBSERVAÇÕES: Gerdau Perfil U 203,2mm x 5,59mm x 1642mm Raios não especificados: 5 mm
	PROJETO PÓRTICO INRI		
QUANTIDADE: 2	ESCALA: 1:5		
PROJETISTA: Andrei Seixas	Aço ASTM A36	UNIDADE: mm	Folha 8 de 15
REVISOR: Alexandre Buenos	Data: 25/04/2020	TOLERÂNCIA: não especificadas	



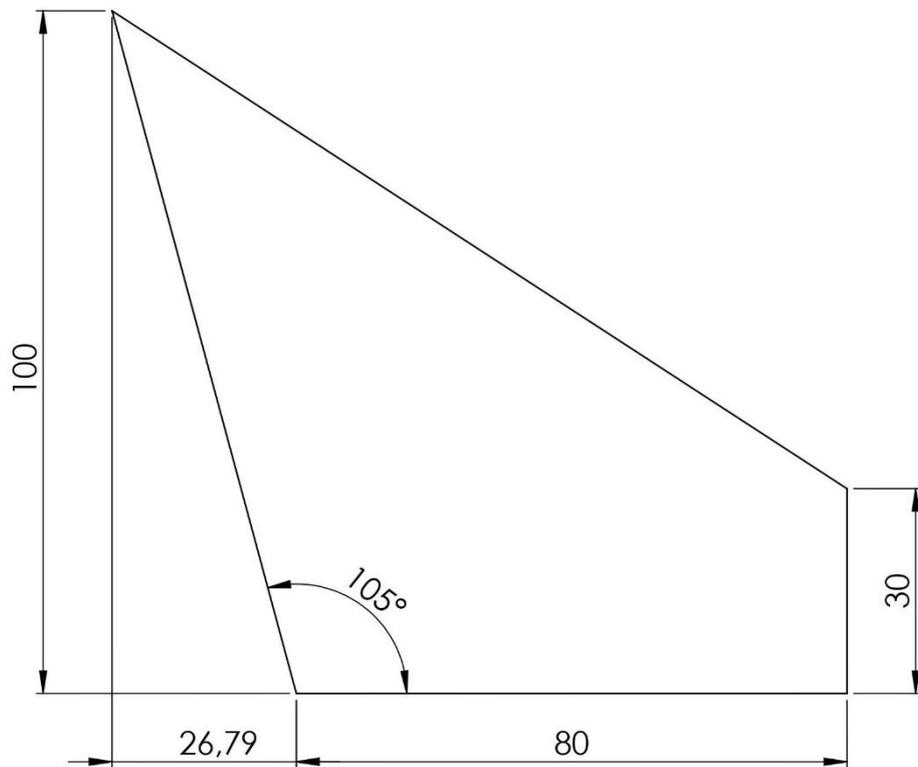
 UFSM	0101.02.04 - Perfil U Superior		OBSERVAÇÕES: Gerdau Perfil U 203,2mm x 5,59mm x 680mm Raios não especificados: 5 mm
	PROJETO PÓRTICO INRI		
	QUANTIDADE: 2	ESCALA: 1:5	
PROJETISTA: Andrei Seixas	Aço ASTM A36	UNIDADE: mm	Folha 9 de 15
REVISOR: Alexandre Buenos	Data: 25/04/2020	TOLERÂNCIA: não especificadas	



 UFSC	01.01.02.05 - Perfil U Transversal		OBSERVAÇÕES: Gerdau Perfil U 203,2mm x 5,59mm x 1180mm Raios não especificados: 5 mm
	PROJETO PÓRTICO INRI		
	QUANTIDADE: 2	ESCALA: 1:5	
PROJETISTA: Andrei Seixas	Aço ASTM A36	UNIDADE: mm	Folha 10 de 15
REVISOR: Alexandre Buenos	Data: 25/04/2020	TOLERÂNCIA: não especificadas	



 UFSC	01.01.02.06 - Chapa União Inferior		OBSERVAÇÕES: Chapa 1/2" (12,7mm) x 100mm x 300mm Furos para parafusos 5/8"
	PROJETO PÓRTICO INRI		
	QUANTIDADE: 4	ESCALA: 1:5	
PROJETISTA: Andrei Seixas	Aço ASTM A36	UNIDADE: mm	Folha 11 de 15
REVISOR: Alexandre Buenos	Data: 25/04/2020	TOLERÂNCIA: não especificadas	



 UFSC	01.01.02.07 - Suporte União Inferior		OBSERVAÇÕES: Chapa 12,7mm (1/2") x 100mm x 100,8mm
	PROJETO PÓRTICO INRI		
	QUANTIDADE: 8	ESCALA: 1:1	
PROJETISTA: Andrei Seixas	Aço ASTM A36	UNIDADE: mm	
REVISOR: Alexandre Buenos	Data: 25/04/2020	TOLERÂNCIA: não especificadas	Folha 12 de 15