



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DA BAHIA
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE BOM JESUS DA LAPA
ENGENHARIA MECÂNICA**

LORRANA TENÓRIO DE MATOS COSTA

**DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA DE ELEVADOR DE ACESSO AO MORRO
DE BOM JESUS DA LAPA**

BOM JESUS DA LAPA

2024

LORRANA TENÓRIO DE MATOS COSTA

**DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA DE ELEVADOR DE ACESSO AO MORRO
DE BOM JESUS DA LAPA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica, do Centro Multidisciplinar de Bom Jesus da Lapa, da Universidade Federal do Oeste da Bahia, para a obtenção de título de bacharel em engenharia mecânica.

ORIENTADOR: PROF. ME. LUCAS ANINGER DE BARROS ROCHA

BOM JESUS DA LAPA

2024

LORRANA TENORIO DE MATOS COSTA

**DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA DO ELEVADOR DE ACESSO AO MORRO
DE BOM JESUS DA LAPA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica, do Centro Multidisciplinar de Bom Jesus da Lapa, da Universidade Federal do Oeste da Bahia, para a obtenção de título de bacharel em engenharia mecânica.

Bom Jesus da Lapa, 25 de setembro de 2024.

A Banca Examinadora composta pelos membros abaixo aprovou este Projeto:

Prof. Me. Lucas Aninger de Barros Rocha

Universidade Federal do Oeste da Bahia

Prof. Me. Filipi Marques de Souza

Universidade Federal do Oeste da Bahia

Prof. Me. Iuri Benedito da Silva Santos

Universidade Federal do Oeste da Bahia

FICHA CATALOGRÁFICA

C837

Costa, Lorrana Tenório de Matos

Dimensionamento da Estrutura de Elevador de Acesso ao Morro de BomJesus da Lapa. /
Lorrana Tenório de Matos Costa. – 2024.

93f.: il.

Orientador: Prof. Me. Lucas Aninger de Barros Rocha

TCC - Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Oeste da Bahia.
Centro Multidisciplinar de Bom Jesus da Lapa - BA, 2024.

1. Engenharia Mecânica. 2. Acessibilidade. 3. Estruturas de Aço - Elevadores. I. Rocha,
Lucas Aninger de Barros. II. Universidade Federal doOeste da Bahia – Centro Multidisciplinar
de Bom Jesus da Lapa - BA. III. Título.

CDD 620.1

BIBLIOTECA UNIVERSITÁRIA DE BOM JESUS DA LAPA – UFOB

Dedico este trabalho a todos os que me ajudaram ao longo desta caminhada e a Deus, por estar presente durante toda a trajetória da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos os professores que tive o prazer de conhecer durante a minha trajetória pela UFOB, principalmente aos que além de professores se tornaram meus amigos e me deram suporte para continuar firme nos meus estudos e nunca duvidaram da minha capacidade.

Expresso minha profunda gratidão aos meus colegas de faculdade, cuja confiança e apoio mútuo foram fundamentais para alcançarmos um excelente desempenho acadêmico. Sabemos que a jornada não foi fácil, mas juntos superamos os desafios e mantivemos a determinação.

Também gostaria de agradecer imensamente aos meus familiares, cujo apoio incondicional e paciência foram essenciais para que eu pudesse concluir minha formação com equilíbrio emocional.

*Se eu vi mais longe,
foi por estar sobre ombros de gigantes.*

(Isaac Newton, 1675)

RESUMO

COSTA, Lorrana Tenório de Matos. **DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA DE ELEVADOR DE ACESSO AO MORRO DE BOM JESUS DA LAPA**. 2024. 94 páginas. Bacharelado TCC – Universidade Federal do Oeste da Bahia, Bom Jesus da Lapa, 25 de setembro de 2024.

O presente trabalho propõe o projeto de uma estrutura metálica para um elevador que assegure o acesso ao Morro de Bom Jesus da Lapa, na Bahia, visando atender à Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (LBI). A cidade, conhecida por sua relevância religiosa, recebe anualmente um grande fluxo de romeiros, em sua maioria idosos e pessoas com mobilidade reduzida, que encontram dificuldades de acesso ao morro devido à sua geografia irregular. Com a instalação do elevador vertical Schindler 5000, que se destaca por sua capacidade de carga e eficiência, busca-se facilitar o transporte dos visitantes e promover a acessibilidade. A estrutura foi projetada utilizando o software CYPE 3D, que permitiu simulações precisas de cargas permanentes, dinâmicas e vento, além da análise da resistência dos materiais selecionados, como o aço estrutural A-572. A proposta considera normas técnicas vigentes e busca otimizar a segurança e a funcionalidade do elevador.

Palavras-chave: acessibilidade, elevador vertical, Morro de Bom Jesus da Lapa, estrutura metálica, Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência, CYPE 3D.

ABSTRACT

This work proposes the design of a metal structure for an elevator that ensures access to the Morro de Bom Jesus da Lapa in Bahia, aiming to comply with the Brazilian Law on the Inclusion of Persons with Disabilities (LBI). The city, known for its religious significance, receives a large flow of pilgrims annually, mostly elderly individuals and those with reduced mobility, who face difficulties accessing the hill due to its irregular geography. The installation of the Schindler 5000 vertical elevator, which stands out for its load capacity and efficiency, aims to facilitate the transportation of visitors and promote accessibility. The structure was designed using the CYPE 3D software, which allowed for precise simulations of permanent and dynamic loads, as well as wind effects, in addition to analyzing the resistance of selected materials such as structural steel A-572. The proposal considers current technical standards and seeks to optimize the safety and functionality of the elevator.

Keywords: accessibility, vertical elevator, Morro de Bom Jesus da Lapa, metal structure, Brazilian Law on the Inclusion of Persons with Disabilities, CYPE 3D.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Funicular de Zagreb.	8
Figura 2 - Teleférico de Cabine.....	9
Figura 3 - O Minimetro na Cidade Italiana de Perugia.	11
Figura 4 – Elevador Hidráulico.	12
Figura 5 – Modelo Schindler 5000 (a – externo; b – interno).	23
Figura 6 - Imagens 3D da Estrutura - Cype 3D.....	32

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BA	Bahia
IBGE	Conselho Nacional de Trânsito
LBI	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
CONTRAN	Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência
PNS	Programa Nacional de Saúde
VLT	Veículo Leve Sobre Trilhos

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Área total da base do elevador / área exposta ao vento	[m ²]
C _f	Fator de forma	[-]
C _v	Coefficiente de arrasto	[-]
E	Módulo de elasticidade	[GPa]
G _k	Ação permanente	[kN]
I	Momento de inércia	[m ⁴]
kg	Quilograma	[kg]
kN/m ²	Quilonewton por metro quadrado	[kN/m ²]
L	Comprimento da viga/pilar	[m]
m/s	Metros por segundo	[m/s]
m ²	Metros quadrados	[m ²]
MPa	Megapascal	[MPa]
MR _d	Momento fletor resistente	[t.m]
MS _d	Momento fletor solicitante	[t.m]
N/m ²	Newton por metro quadrado	[N/m ²]
N _c ,R _d	Força axial resistente	[t]
N _c ,S _d	Força axial de compressão solicitante	[t]
N _e	Força axial de flambagem elástica	[kN]
p	Pressão de vento	[kN/m ²] ou [t/m ²]
P	Carga total aplicada	[kN]
q	Pressão dinâmica do vento	[N/m ²]
Q _k	Ação variável	[kN]
S ₁	Fator topográfico	[-]
S ₂	Fator de rugosidade do terreno	[-]
S ₃	Fator estatístico	[-]
t	Espessura	[mm]
t/m ²	Toneladas por metro quadrado	[t/m ²]
V	Velocidade do vento	[m/s]
V ₀	Velocidade básica do vento	[m/s]
W	Peso próprio	[kN/m]
γ _G	Coefficiente parcial de segurança para G	[-]

γ_Q	Coeficiente parcial de segurança para Q	[-]
Δ	Deslocamento	[mm]
η	Coeficiente de aproveitamento	[-]
λ_x	Índice de esbeltez no eixo X	[-]
λ_y	Índice de esbeltez no eixo Y	[-]
ρ	Densidade do ar	[kg/m ³]
ψ_a	Coeficiente de combinação variável	[-]
ψ_p	Coeficiente de combinação permanente	[-]

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Objetivos	2
1.1.1	Objetivo Geral	2
1.1.2	Objetivos Específicos	2
2	REVISÃO DA LITERATURA	3
2.1	Características do Morro de Bom Jesus da Lapa	3
2.1.2	Desafios Específicos de Acessibilidade no Local	3
2.2	Acessibilidade em Espaços Turísticos	4
2.3	Transportadores Mecânicos	5
2.3.1	Plano Inclinado	7
2.3.2	Teleférico	9
2.3.3	Minimetro	10
2.3.4	Elevadores	12
2.4	Análise Dos Diferentes Tipos De Elevadores	13
2.4.1	Seleção do sistema de Transporte	14
2.4.2	Aplicação Prática no Projeto	14
2.5	Normas e Regulamentos Relacionados à Acessibilidade e Segurança na Estrutura de Elevadores de Acesso	15
2.5.1	Normas de Acessibilidade	15
2.5.2	Normas de Segurança	16
2.5.3	Regulamentos Adicionais	16
2.6	Configurações para estrutura metálica	16
2.6.1	Características das Estruturas Metálicas	16
2.6.2	Tipos de Aço Utilizados em Estruturas Metálicas	17
2.6.3	Tipos de Perfis Metálicos	18
2.6.4	Perfis para Contraventamento	18
2.7	Cálculo de estruturas metálicas	19
3	MATERIAIS E MÉTODOS	21
3.1	Análise Topográfica do Local	21
3.2	Escolha do Tipo de Elevador	21
3.3	Comparação de Modelos Disponíveis no Catálogo	21
3.4	Levantamento de Parâmetros para o Dimensionamento do Elevador	23
3.5	Ferramentas e Softwares	24
3.5.1	Especificações do Hardware Utilizado	24
3.5.2	Softwares Utilizados	24
3.6	Modelagem da Estrutura no CYPE 3D	24

3.6.1	Definição da Geometria.....	24
3.6.2	Cargas Aplicadas	25
3.6.3	Análise Estrutural	27
3.7	Critérios de Falha Considerados no CYPE 3D	28
3.7.1	Flambagem	28
3.7.2	Limites de Deformação	28
3.7.3	Tensões Excedentes	28
3.7.4	Cargas de Vento e Vibrações	28
3.8	Refinamento de Dados no CYPE 3D.....	29
3.9	Seleção de Materiais	29
3.10	Passo a Passo no Cype 3D	29
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	31
4.1	Introdução aos Resultados	31
4.2	Escolha do Elevador	31
4.3	Desenvolvimento do Projeto no Software CYPE 3D	31
4.3.1	Modelagem e Análise com CYPE 3D:.....	31
4.4	Fator de segurança para estrutura do elevador.....	32
4.4.1	Combinações de Ações.....	32
4.4.2	Limitação do Índice de Esbeltez.....	33
4.4.3	Resistência à Tração	33
4.4.4	Resistência à Compressão	33
4.4.5	Resistência à Flexão	33
4.4.6	Resistência ao Esforço Cortante	34
4.4.7	Resistência ao Esforço Axial e Flexão Combinados	34
4.4.8	Resistência à Torção.....	34
4.4.9	Resistência ao Momento de Torção, Força Axial, Momento Fletor e Cortante Combinados.....	34
4.4.10	Resistência a Interações de Esforços e Momento de Torção	34
4.4.11	Cálculo do Fator de Segurança.....	35
4.4.12	Considerações Finais	36
5	CONCLUSÕES	37
	REFERÊNCIAS	39
	ANEXO 1	44
	ANEXO 2	57

1 INTRODUÇÃO

A cidade de Bom Jesus da Lapa fica situada na Bahia a 900 quilômetros de Salvador, margeando o rio São Francisco, conhecida como a “capital baiana da fé”, reúne turistas e romeiros dos mais variados lugares todos os anos que visitam a cidade para conhecer o morro e as grutas existentes em seu interior tornando a Lapa um dos maiores santuários religiosos.

O fluxo de romeiros que visitam periodicamente a cidade impulsiona a economia local, movimentando o comércio e rede hoteleira. O Morro é a principal atração turística da cidade e é o motivador para que seja tão visitada, o que a torna a terceira maior romaria do país, de forma que as pessoas visitam para pagar promessas, rogar por graças ou revelar sua gratidão pelos desejos realizados. Hoje, o Santuário de Bom Jesus da Lapa-BA, é considerado hoje um dos maiores do Nordeste Brasileiro além de ser um dos mais importantes, entre mais de 260 santuários do Brasil, conforme apontado por Steil (1996, p. 200).

O morro da Lapa é um maciço calcário com uma estrutura singular e extraordinária. Segundo opinião baseada nas ciências naturais, o Rio São Francisco foi, há centenas de milhares de anos, um mar interior, cujas águas esculpiram as formas góticas, piramidais, que hoje todos admiramos (MICEK, 2006, p. 11).

Existem duas formas de acesso ao topo do morro, uma delas, já possui intervenção humana, marcada pelos degraus construídos em regiões onde a formação natural das pedras impossibilitava a continuidade do percurso sem riscos de acidente. A segunda possibilidade, contempla uma trilha através da formação original, sem intervenção humana, tornando-a ainda mais limitante para o acesso de pessoas com mobilidade reduzida. Para chegar ao topo do morro é possível subir por dentro, passando entre as pedras, e por fora, todos de difícil acesso devido a anatomia irregular das pedras, o que dificulta e às vezes impossibilita o acesso a muitas pessoas, como idosos, pessoas com baixa mobilidade, deficientes e cadeirantes.

De acordo com a pesquisa de Oliveira (2014, p. 111), a maioria das pessoas que participam da Romaria de Bom Jesus da Lapa são idosos, e de acordo com a Central de Atendimento aos Romeiros (órgão local que dá suporte aos visitantes), essa parcela é maior representada por mulheres.

Dados fornecidos pelo IBGE, no documento do PNS, apontam que 24,8% de pessoas com 60 anos ou mais apresentam algum tipo de deficiência (BRASIL, 2019). Dentre a população Brasileira portadora de deficiência, as maiores comorbidades são visuais e motoras (IBGE, Censo demográfico, 2010).

A Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (LBI), visa contemplar, entre outros:

Acessibilidade: possibilidade e condição de alcance para utilização, com segurança e autonomia, de espaços, mobiliários, equipamentos urbanos, edificações, transportes, informação e comunicação, inclusive seus sistemas e tecnologias, bem como de outros serviços e instalações abertos ao público, de uso público ou privados de uso coletivo, tanto na zona urbana como na rural, por pessoa com deficiência ou com mobilidade reduzida;
(BRASIL, Lei n. 13.146, de 06 de julho de 2015. Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência).

Diante do exposto, torna-se evidente que a presença de um transportador mecânico que garanta o acesso das pessoas, independente da condição física ao topo do Morro de Lapa é de vital importância, uma vez que tal atividade é um dos principais programas turísticos dos visitantes.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é projetar a estrutura de um elevador para o acesso ao Morro de Bom Jesus da Lapa, com o intuito de atender a Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (LBI), LEI Nº 13.146, DE 6 DE JULHO DE 2015, Art. 3º - I – acessibilidade.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Dimensionar estrutura para transportador mecânico;
- Selecionar o sistema de transporte;
- Definir o modelo do transportador;
- Definir a configuração de estruturas;
- Dimensionar a estrutura metálica

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 CARACTERÍSTICAS DO MORRO DE BOM JESUS DA LAPA

O Morro de Bom Jesus da Lapa está localizado na cidade de Bom Jesus da Lapa, no interior do estado da Bahia, Brasil. Este morro destaca-se na paisagem da região semiárida do sertão baiano, constituindo-se em uma formação rochosa imponente que se eleva aproximadamente 92 metros acima do nível do rio São Francisco. A topografia do morro é acidentada, com encostas íngremes e irregularidades naturais, características típicas de regiões calcárias, que apresentam formações cársticas, incluindo grutas e cavernas (MACHADO, 2017).

A vegetação ao redor do morro é típica da caatinga, adaptada às condições climáticas semiáridas, com espécies resistentes à seca. A localização estratégica do morro, às margens do rio São Francisco, contribui para a sua importância histórica e cultural, sendo um ponto de referência para peregrinações religiosas e turismo na região (SANTOS, 2019).

2.1.1 Pontos Turísticos e Atrativos no Local

O Morro de Bom Jesus da Lapa é conhecido por ser um dos principais destinos de turismo religioso no Brasil. O principal atrativo do local é o Santuário do Bom Jesus da Lapa, uma igreja situada no interior de uma gruta natural. Este santuário atrai milhares de fiéis e turistas todos os anos, especialmente durante as romarias, que ocorrem em julho e agosto. A gruta principal, onde está localizada a imagem do Bom Jesus, é considerada sagrada e é o ponto focal das atividades religiosas (ALMEIDA, 2020).

Além do santuário, o morro abriga outras grutas de grande interesse, como a Gruta da Soledade, a Gruta de Nossa Senhora da Conceição e a Gruta do Sepulcro. Estas grutas são interligadas por um complexo de passagens naturais e escadas esculpidas na rocha, permitindo que os visitantes explorem o interior do morro e desfrutem de vistas panorâmicas do rio São Francisco e da cidade de Bom Jesus da Lapa (PEREIRA, 2018).

2.1.1 Desafios Específicos de Acessibilidade no Local

Os desafios de acessibilidade no Morro de Bom Jesus da Lapa são significativos devido à sua topografia acidentada e à natureza das formações rochosas. O acesso ao santuário e às

grutas envolve subir escadas íngremes e navegar por passagens estreitas, o que representa uma barreira considerável para pessoas com deficiência ou mobilidade reduzida (MOURA, 2021).

A falta de infraestrutura adequada para acessibilidade é um problema crítico. As escadas e passagens naturais não possuem rampas ou corrimãos suficientes, e a sinalização é limitada. Além disso, a irregularidade do terreno e a presença de obstáculos naturais tornam a movimentação dentro do complexo desafiadora para os visitantes que necessitam de apoio adicional (SILVA, 2020).

A implementação de soluções de acessibilidade, como elevadores e plataformas de acesso, é essencial para melhorar a inclusão e permitir que todos os visitantes possam usufruir dos atrativos do morro. Contudo, a integração dessas soluções deve ser cuidadosamente planejada para minimizar o impacto visual e ambiental, preservando a integridade natural e histórica do local (OLIVEIRA, 2019).

2.2 ACESSIBILIDADE EM ESPAÇOS TURÍSTICOS

A acessibilidade em áreas turísticas e espaços naturais vem ganhando destaque como uma questão prioritária no turismo inclusivo. Segundo Silva et al. (2020), é essencial que o turismo seja acessível para todas as pessoas, independentemente de suas capacidades físicas. O estudo de Silva et al. (2020) enfatiza a necessidade de adaptação dos espaços turísticos e naturais para atender às necessidades de visitantes com mobilidade reduzida ou deficiências, demonstrando que tais adaptações não beneficiam apenas os visitantes com necessidades especiais, mas também promovem uma experiência mais inclusiva para toda a sociedade.

Nesse sentido, a regulamentação e as normas técnicas desempenham um papel crucial. A ABNT NBR 9050 (Associação Brasileira de Normas Técnicas) estabelece critérios específicos para a criação e adaptação de ambientes acessíveis, incluindo áreas turísticas e naturais. Conforme destaca a ABNT (2020), a norma NBR 9050 define requisitos que garantem a acessibilidade de pessoas com deficiência ou mobilidade reduzida, sendo fundamental para orientar a construção de ambientes inclusivos e seguros.

Além das normas, o uso de tecnologias, como elevadores e plataformas de acesso, tem sido uma solução eficaz para eliminar barreiras arquitetônicas. Smith (2019) destaca a importância dessas tecnologias, que permitem o acesso a locais antes inacessíveis, especialmente para pessoas com mobilidade limitada, promovendo assim a inclusão social e a igualdade de oportunidades.

Adicionalmente, órgãos reguladores, como o CONTRAN (Conselho Nacional de Trânsito), também desempenham um papel importante no estabelecimento de requisitos para a instalação de elevadores e plataformas em áreas de interesse turístico e em espaços protegidos. O cumprimento dessas normas e regulamentos garante a segurança e o bem-estar dos visitantes, conforme aponta o estudo de Santos e Almeida (2021), que discute a importância de seguir diretrizes normativas para promover acessibilidade de maneira efetiva e segura.

Em resumo, a acessibilidade em espaços turísticos e áreas naturais representa um compromisso legal e ético com a inclusão social. Normas técnicas, como a ABNT NBR 9050, e o uso de tecnologias acessíveis contribuem para a criação de ambientes que acolhem a todos os visitantes, proporcionando uma experiência turística igualitária e enriquecedora para todos.

2.3 TRANSPORTADORES MECÂNICOS

De acordo com Beardsley (2006), um funicular é definido como um sistema de transporte que utiliza cabos de aço para puxar veículos ao longo de um plano inclinado, geralmente destinado ao transporte de passageiros ou materiais em terrenos íngremes. O termo “funicular” deriva do latim *funiculus*, que significa “corda”, e reflete a estrutura básica deste sistema de transporte, composta por cabos, polias e trilhos (BEARDSLEY, 2006).

Os funiculares são particularmente versáteis, encontrando aplicação em diversas áreas. Eles são amplamente utilizados tanto para transporte de passageiros em áreas montanhosas quanto para o transporte de cargas em ambientes industriais, como mineração e construção civil. Essa flexibilidade torna o funicular uma solução eficaz para o transporte em terrenos desafiadores (MICHIELS, 2013).

Categorias de Funiculares

Na tipologia dos funiculares, as configurações variam conforme a necessidade e a função. Segundo Michiels (2013), os principais tipos incluem:

1. **Cabinas ou Gôndolas:** Utilizadas principalmente para transporte de passageiros, as cabinas são projetadas para operar ao longo de trilhos inclinados, com capacidade e design ajustados às especificidades do terreno e da aplicação (MICHIELS, 2013).

2. **Cadeiras ou Bancos:** Algumas variantes de funiculares adotam veículos em forma de cadeiras, comumente empregados em áreas de recreação, como parques ou resorts de esqui, oferecendo uma forma mais descontraída de transporte (MICHIELS, 2013).

3. **Transporte de Cargas:** Projetados especificamente para movimentar materiais, esses funiculares são adaptados com estruturas robustas e maiores capacidades de carga, sendo amplamente utilizados em indústrias pesadas e atividades como mineração (BEARDSLEY, 2006).

4. **Funiculares Gravitacionais:** Operam utilizando a força da gravidade para movimentar os veículos em declives acentuados, reduzindo o consumo de energia em descidas (MICHIELS, 2013).

5. **Funiculares de Operação Mecânica:** Utilizam sistemas motorizados para movimentar os veículos, proporcionando maior controle e eficiência em terrenos desafiadores ou subidas (BEARDSLEY, 2006).

Essas categorias demonstram a ampla aplicabilidade dos funiculares, adaptando-se a uma variedade de condições e demandas de transporte.

Métodos de Deslocamento

Os funiculares podem ser classificados ainda pela forma como os veículos se deslocam ao longo do trajeto. Michiels (2013) categoriza os métodos de deslocamento da seguinte forma:

1. **Plano Inclinado:** Os veículos se movem diretamente sobre trilhos instalados no solo, uma configuração típica de funiculares usados em terrenos acentuados (MICHIELS, 2013).

2. **Funiculares Suspensos:** Nessa variação, os veículos ficam suspensos no ar por cabos, o que permite a operação em terrenos onde a instalação de trilhos seria impraticável (BEARDSLEY, 2006).

3. **Teleféricos Suspensos:** Utilizados principalmente em destinos turísticos ou em longas distâncias, os teleféricos suspensos se deslocam sobre fios aéreos, oferecendo uma vista panorâmica e sendo comuns em áreas montanhosas (MICHIELS, 2013).

A escolha do tipo de deslocamento e veículo depende das características topográficas e das necessidades de transporte da região.

Sistemas de Propulsão

Conforme Michiels (2013), a propulsão dos funiculares é uma variável chave na sua operação. Os dois principais tipos de propulsão são:

1. **Operação Mecânica:** Utilizam motores para tração, controlando tanto a subida quanto a descida dos veículos, sendo indicados para trajetos com variações de altitude acentuadas (MICHIELS, 2013).
2. **Operação Gravitacional:** Utilizam a gravidade para movimentar os veículos, especialmente em trajetos descendentes, economizando energia (BEARDSLEY, 2006).

2.3.1 Plano Inclinado

Os funiculares, sistemas de transporte mecânico que utilizam cabos em planos inclinados para movimentar veículos ou carruagens, são soluções eficazes em regiões montanhosas ou terrenos íngremes, superando desafios onde a locomoção convencional seria impraticável. Marocchi (2011) destaca a notável capacidade desses sistemas de superar grandes inclinações, proporcionando transporte eficiente em terrenos desafiadores. Um exemplo emblemático desse tipo de transporte é o Funicular Zabred, que pode ser observado na Figura 1.

Figura 1 - Funicular de Zagreb.



Fonte: <https://www.visitzagreb.hr/zagreb/zagreb-funicular/>, 04.08.2024.

A estrutura básica dos funiculares, conforme salientado por Marocchi (2011), consiste em dois carros ou carruagens interligados por um cabo de aço em forma de laço, permitindo movimento contínuo e eficiente, conhecido como "jig-back". Além disso, há configurações de funiculares com um único veículo e cabo de transporte, eliminando a necessidade de um laço de cabo.

Os funiculares modernos do tipo plano inclinado foram projetados para operar em linhas côncavas e convexas, adaptando-se a curvas e mudanças na inclinação da linha. Dispositivos de controle são empregados para manter o piso dos carros nivelado, mesmo em terrenos irregulares, representando avanços tecnológicos que ampliaram as possibilidades de uso desses sistemas em diversas configurações (Marocchi, 2011).

Em termos energéticos, os funiculares demonstram eficiência superior em comparação com sistemas de transporte de ônibus que atendem aos mesmos destinos, mesmo em condições de tráfego menos favoráveis. Contudo, é essencial observar que a energia necessária varia ao longo da linha, dependendo da inclinação e outros fatores (Marocchi, 2011).

Do ponto de vista da engenharia de transporte e de decisões políticas, os funiculares emergem como opção viável para superar terrenos íngremes, especialmente em linhas mais curtas com menor demanda de transporte. Os custos iniciais e operacionais desses sistemas tendem a ser inferiores em comparação com outras alternativas de transporte, contribuindo para sua viabilidade econômica e aplicabilidade em diversas configurações (Marocchi, 2011).

Ao considerar o contexto dos planos inclinados, essenciais em diversas disciplinas da engenharia, o estudo dessas estruturas oferece uma compreensão aprofundada de seus princípios físicos, aplicações práticas e desafios tecnológicos. Historicamente, engenheiros romanos como Lloyd e Chadwick (1991) desempenharam papel pioneiro na aplicação de planos inclinados na construção de aquedutos e anfiteatros, estabelecendo um legado evolutivo que permeia os sistemas modernos de transporte público. A integração dessas estruturas em edifícios contemporâneos demanda soluções inovadoras, impulsionando avanços em materiais e sistemas de controle (Smith, 2007; Zheng, 2015).

2.3.2 Teleférico

Os teleféricos de cabine, como mostrado na Figura 2, desempenham um papel essencial na mobilidade em áreas de difícil acesso, principalmente em regiões montanhosas ou locais com restrições geográficas. De acordo com El-Jouzou (2016), essa modalidade de transporte se destaca por sua eficiência em superar grandes desníveis, transportando passageiros e cargas com segurança. Projetados originalmente para áreas de esqui, esses sistemas evoluíram para atender também ao transporte urbano e turístico, demonstrando versatilidade.

Figura 2 - Teleférico de Cabine



Fonte: <https://www.dicasdeviagem.com/teleferico-campos-do-jordao/>, 04.08.2024.

Os sistemas de tráfego teleférico desempenham um papel distintivo e crucial no contexto do sistema nacional de tráfego, oferecendo mobilidade eficiente e acessibilidade para áreas naturais de difícil alcance (El-Jouzou, 2016). Essa modalidade de transporte abrange diferentes sistemas, cada um com configurações específicas de dispositivos projetados para o

transporte de passageiros, sendo a utilização de cabos como principal elemento de transmissão da força motriz comum a todos.

A rede de teleféricos tem se destacado como uma solução essencial para facilitar deslocamentos em áreas remotas e desafiadoras. Inicialmente desenvolvidos para uso em estações de esqui, os teleféricos se adaptaram ao longo do tempo para atender também às necessidades de transporte urbano. Segundo Scheingert (1966), esses sistemas de transporte por cabo evoluíram para se tornarem alternativas viáveis em áreas de difícil acesso, oferecendo mobilidade e conectividade onde o transporte terrestre seria inviável.

Do ponto de vista econômico e ambiental, o transporte por cabo frequentemente apresenta vantagens em relação aos meios de transporte terrestre, como rodovias, ferrovias e transportadores (El-Jouzou, 2016). A eficiência do transporte por cabo destaca-se especialmente em terrenos acidentados, como montanhas, e em áreas com baixa densidade populacional, difícil acessibilidade ou restrições naturais e urbanísticas que inviabilizam o desenvolvimento do transporte terrestre (Scheingert, 1966; FREIGHT CABLEWAYS AVAILABLE, 2018; Lagerev et al., 2019).

A eficácia dos teleféricos é evidente em regiões com alta densidade de desenvolvimento, seja residencial ou industrial. De acordo com El-Jouzou (2016), esses sistemas são altamente versáteis, adaptando-se a diversos cenários geográficos e contextos urbanos, proporcionando soluções de transporte seguras e eficientes. A contínua evolução tecnológica dos teleféricos garante sua relevância como uma opção sustentável e economicamente viável para enfrentar os desafios da mobilidade em diferentes ambientes.

2.3.3 Minimetro

Antes de detalharmos o Minimetro de Perugia, é importante entender como esses sistemas inovadores funcionam no transporte urbano, Figura 3. Segundo Marocchi (2011), o Minimetro se destaca por operar em trilhos em vez de usar cabos suspensos, como os teleféricos tradicionais. Isso proporciona mais estabilidade e alinhamento ao longo do trajeto, sendo uma solução viável para cidades com terrenos difíceis. Um exemplo é o sistema implementado na cidade de Perugia, Itália, pela empresa Leitner, que tem sido muito elogiado pela sua eficiência e impacto reduzido no meio ambiente.

Figura 3 - O Minimetro na Cidade Italiana de Perugia.



Fonte: (Marocchi, 2011).

Garcia (2015) complementa essa análise ao destacar a capacidade do Minimetro de atender a grandes volumes de passageiros e seu baixo impacto ambiental. Em Perugia, o sistema possui 25 veículos, cada um com cerca de 5 metros de comprimento e capacidade para até 20 passageiros. Um dos aspectos mais interessantes do sistema é a mesa rotativa nas estações terminais, que permite a inversão rápida dos veículos, otimizando o funcionamento do transporte (Garcia, 2015).

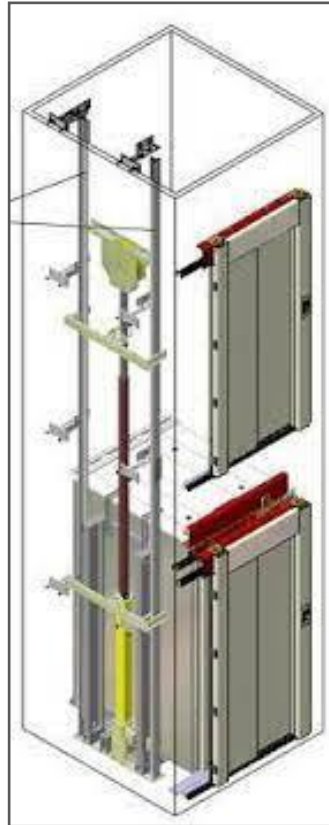
Além disso, conforme observado por Garcia (2015), a tecnologia empregada no Minimetro, com pneus acionados por correias, garante uma aceleração constante e eficiente, alcançando uma velocidade média de 25 km/h. O intervalo entre os veículos é de aproximadamente 2,5 minutos, o que permite um fluxo contínuo de passageiros, inclusive nos horários de pico, contribuindo para a mobilidade urbana em cidades densamente povoadas.

Esse tipo de transporte representa uma alternativa interessante e sustentável aos meios convencionais, como os teleféricos e bondes, e tem se mostrado eficaz em contextos urbanos complexos, como cidades históricas e com limitações de espaço (Marocchi, 2011; Garcia, 2015). A flexibilidade e a inovação tecnológica do Minimetro demonstram que ele pode ser uma solução viável para enfrentar os desafios de transporte urbano moderno.

2.3.4 Elevadores

Antes de aprofundarmos nos componentes técnicos dos elevadores, é importante observar a Figura 4, que ilustra um elevador hidráulico moderno, exemplificando as inovações tecnológicas e de design nesse setor.

Figura 4 – Elevador Hidráulico.



Fonte: <https://vetraelevadores.com.br/elevador>, 23.06.2023

Os elevadores, essenciais para o transporte vertical, desempenham um papel crucial na operacionalidade urbana e refletem inovações mecânicas significativas. Smith (2010) destaca a contribuição dessas máquinas elevadoras no crescimento vertical das cidades, redefinindo não apenas o cenário urbano, mas também moldando o mercado imobiliário contemporâneo.

As inovações mecânicas nos elevadores vão além da sua função principal de facilitar a mobilidade vertical. Johnson (2016) ressalta a variedade de motores utilizados, com destaque para os de corrente alternada e corrente contínua. Essa diversidade proporciona flexibilidade, permitindo a escolha do motor mais adequado às necessidades específicas de cada aplicação.

Outro componente crucial é o sistema de cabo de aço, detalhado por Brown (2018), que desempenha um papel fundamental na sustentação e movimentação do elevador. O avanço

tecnológico nessa área possibilitou o desenvolvimento de cabos mais leves e resistentes, aumentando a eficiência operacional e a segurança do equipamento.

Além disso, a evolução dos materiais de construção é evidente na utilização de ligas de alumínio e materiais compósitos. Smith (2010) destaca que esses materiais não só reduzem o peso total do elevador, mas também contribuem para a sua durabilidade e resistência estrutural.

Quanto à capacidade de passageiros e formato do elevador, Brown (2020) observa que as inovações não se limitam à parte técnica, mas também se estendem à experiência do usuário. Elevadores panorâmicos, por exemplo, oferecem uma visão única durante o deslocamento, enriquecendo a jornada vertical.

Em síntese, os elevadores não apenas desempenham um papel fundamental na verticalização urbana, mas também incorporam inovações mecânicas em motores, sistemas de cabos, materiais de construção e design, influenciando não apenas o desenvolvimento físico das cidades, mas também a experiência das pessoas em seus deslocamentos verticais.

2.4 ANÁLISE DOS DIFERENTES TIPOS DE ELEVADORES

A escolha do tipo de elevador adequado para a implementação em um ambiente específico, como o Morro de Bom Jesus da Lapa, exige uma análise detalhada dos diferentes tipos de elevadores disponíveis no mercado. Os principais tipos de elevadores são:

Elevadores Verticais

Elevadores verticais são os mais comuns e tradicionais, utilizados em edifícios residenciais, comerciais e industriais. Operam em um poço vertical fixo e são ideais para transportar passageiros e cargas entre diferentes níveis de um edifício. Esses elevadores podem ser elétricos ou hidráulicos, cada um com suas particularidades em termos de velocidade, capacidade de carga e custo de instalação e manutenção (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013).

Elevadores Inclinados

Elevadores inclinados operam em trilhos inclinados e são frequentemente utilizados em terrenos com declives acentuados, como montanhas ou áreas urbanas com grandes desníveis. Eles são úteis para conectar pontos em diferentes alturas onde a construção de um poço vertical

não é viável ou desejável. Esses elevadores são comumente encontrados em locais turísticos e estações de esqui (SILVA, 2020).

Plataformas Elevatórias

Plataformas elevatórias são dispositivos de elevação que funcionam tanto em orientação vertical quanto inclinada. São geralmente utilizadas para acessibilidade, permitindo que pessoas com deficiência ou mobilidade reduzida acessem diferentes níveis de um edifício ou espaço público. As plataformas elevatórias são versáteis, mas geralmente possuem capacidade de carga e velocidade limitadas em comparação aos elevadores tradicionais (MOURA, 2021).

2.4.1 Seleção do sistema de Transporte

A escolha de um sistema de transporte adequado depende de diversos fatores, incluindo as condições locais, demanda e os avanços tecnológicos disponíveis. Dessa forma, não há regras absolutas que possam ser aplicadas universalmente a todas as situações. O processo de seleção inicia-se com um estudo aprofundado da demanda por transporte, as características locais e a realização de uma análise de custo-benefício de cada solução possível (SOUZA; MENEZES, 2019).

Soluções alternativas, como escadas rolantes e esteiras para distâncias curtas, ou VLTs (Veículos Leves sobre Trilhos) para distâncias maiores e demandas de alta capacidade, também devem ser consideradas. Cada uma dessas opções tem suas vantagens e desvantagens, dependendo das especificidades da área e dos requisitos de transporte (ALMEIDA, 2020).

2.4.2 Aplicação Prática no Projeto

No desenvolvimento do projeto, a escolha de um elevador de catálogo exige uma análise criteriosa para garantir que a estrutura seja capaz de suportar as especificações técnicas fornecidas pelo fabricante. A ABNT NBR 8800:2008, que trata do projeto e execução de estruturas de aço em edificações, estabelece que a estrutura deve ser projetada para resistir tanto às cargas estáticas quanto dinâmicas do elevador, considerando-se a altura de elevação de 95 metros. Materiais como o aço galvanizado são recomendados por sua resistência à corrosão, o que garante maior durabilidade, especialmente em ambientes externos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008).

A conformidade com as normas e regulamentos é crucial para garantir que a estrutura que abrigará o elevador e a plataforma de acesso ao Morro de Bom Jesus da Lapa seja segura, acessível e durável. A aplicação rigorosa dessas diretrizes normativas assegura a proteção dos usuários e a integração harmoniosa do projeto com o ambiente natural do morro (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008).

2.5 NORMAS E REGULAMENTOS RELACIONADOS À ACESSIBILIDADE E SEGURANÇA NA ESTRUTURA DE ELEVADORES DE ACESSO

A instalação de um elevador de acesso no Morro de Bom Jesus da Lapa requer a observância estrita das normas e regulamentos vigentes para garantir a acessibilidade e a segurança de todos os usuários. De acordo com a ABNT NBR 9050 (2015), que estabelece critérios para a acessibilidade em edificações, mobiliários, espaços e equipamentos urbanos, o projeto deve prever soluções que permitam o uso do elevador por pessoas com deficiência ou mobilidade reduzida.

Além disso, o dimensionamento da estrutura de suporte do elevador e a integração com a plataforma devem estar em conformidade com a ABNT NBR 14712 (2001), que trata dos requisitos de segurança para sistemas de transporte vertical de passageiros e cargas. Isso inclui o atendimento às exigências de acessibilidade e a consideração de fatores como capacidade de carga e condições de evacuação de emergência (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2001).

2.5.1 Normas de Acessibilidade

Uma das normas primordiais nesse contexto é a ABNT NBR 9050:2015 - Acessibilidade a Edificações, Mobiliário, Espaços e Equipamentos Urbanos. Esta norma fornece os critérios e parâmetros técnicos para a promoção da acessibilidade em edificações e equipamentos urbanos. Aplicada ao projeto de estrutura de elevador e plataforma, a NBR 9050 assegura que as rampas, os corrimãos, a sinalização tátil e visual, e o espaço de circulação sejam adequados para pessoas com deficiência ou mobilidade reduzida (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015).

2.5.2 Normas de Segurança

A segurança dos usuários é garantida por normas como a ABNT NBR 16200:2013 - Elevadores de Passageiros - Requisitos de Segurança para Construção e Instalação, que especifica os requisitos de segurança para elevadores de passageiros. Para a estrutura que suportará o elevador, é fundamental assegurar que todos os componentes atendam aos padrões de resistência e durabilidade. Esta norma cobre aspectos como a escolha de materiais, cálculos estruturais precisos, e a implementação de dispositivos de segurança, incluindo para-raios e sistemas de aterramento (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013).

Para o dimensionamento da estrutura metálica, a ABNT NBR 8800:2008 - Projeto de Estruturas de Aço e de Estruturas Mistas de Aço e Concreto de Edifícios é fundamental. Esta norma estabelece os critérios para o projeto de estruturas de aço, incluindo cálculos de carga, análise de esforços e detalhamento de juntas e conexões. A estrutura deve ser projetada para suportar o peso do elevador, cargas dinâmicas, e fatores ambientais como vento e chuva (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008).

2.5.3 Regulamentos Adicionais

Além das normas técnicas, a NR 18 - Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção é relevante para a fase de construção. Esta norma regulamentadora estabelece diretrizes de segurança e saúde no trabalho para a construção, garantindo que medidas de proteção coletiva e individual, sinalização de segurança, e treinamento dos trabalhadores sejam observados durante a instalação da estrutura e do elevador (MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO, 2020).

2.6 CONFIGURAÇÕES PARA ESTRUTURA METALICA

2.6.1 Características das Estruturas Metálicas

As estruturas metálicas são conhecidas por sua leveza, alta resistência e flexibilidade, conforme abordado pela ABNT NBR 8800:2008. As principais características das estruturas metálicas incluem:

- **Resistência Mecânica:** O aço possui uma elevada resistência à tração, compressão e flexão, o que permite a construção de edifícios altos e pontes de grandes vãos. Conforme Martins e Lima (2020), essa resistência é diretamente influenciada pelo tipo de perfil e aço utilizado.
- **Rapidez de Montagem:** A pré-fabricação de componentes permite que a montagem das estruturas seja rápida e eficiente, o que resulta em menor tempo de execução da obra, conforme descrito por Gomes (2018).
- **Durabilidade:** A durabilidade das estruturas de aço depende dos tratamentos aplicados, como galvanização e pintura anticorrosiva. Esses tratamentos são especificados em normas como a ABNT NBR 8800:2008, que também recomenda inspeções regulares para garantir a integridade estrutural.

2.6.2 Tipos de Aço Utilizados em Estruturas Metálicas

Os tipos de aço utilizados nas estruturas variam de acordo com as necessidades de resistência, durabilidade e exposição ao ambiente. A ABNT NBR 7007:2006 trata das especificações para os aços de uso estrutural, garantindo a conformidade dos materiais com os requisitos técnicos. Dentre os principais tipos de aço utilizados em estruturas metálicas, destacam-se:

- **Aço Carbono:** Amplamente utilizado em construções comuns, com uma boa relação custo-benefício e resistência moderada. É empregado em diversos tipos de estruturas, como edifícios e passarelas, conforme recomendado por Silva et al. (2017).
- **Aço Galvanizado:** Revestido com uma camada de zinco, esse tipo de aço é recomendado para ambientes externos, garantindo proteção contra a corrosão. A ABNT NBR 6323:2012 estabelece os parâmetros para a galvanização por imersão a quente, utilizada em passarelas e estruturas expostas ao ambiente.
- **Aço Corten:** Aço resistente à corrosão, comumente utilizado em projetos arquitetônicos e pontes. Conforme Ferreira (2021), o aço corten é recomendado para estruturas expostas a condições climáticas adversas, sem a necessidade de manutenção constante.
- **Aço Estrutural ASTM A572 (345 MPa):** O aço A572 é uma liga de alta resistência com limite de escoamento mínimo de 345 MPa, sendo amplamente utilizado em pontes e edifícios de grande porte. Conforme Johnson (2019), sua resistência superior e boa

soldabilidade fazem deste aço uma escolha ideal para grandes estruturas que requerem alta resistência e estabilidade.

2.6.3 Tipos de Perfis Metálicos

Os perfis metálicos são elementos fundamentais em estruturas de aço, oferecendo resistência e flexibilidade para diferentes aplicações construtivas. Conforme a ABNT NBR 8800:2008, os perfis metálicos devem ser escolhidos de acordo com os esforços a que estarão submetidos. Os principais perfis disponíveis são:

- Perfis I ou H: Perfis com alta resistência à flexão e compressão, amplamente utilizados em vigas e colunas de edifícios de grandes dimensões. De acordo com Marques (2019), esses perfis proporcionam maior resistência quando utilizados em grandes vãos, além de garantir a estabilidade estrutural.
- Perfis U (UPN e UPE): Perfis em “U” são usados em elementos estruturais que necessitam de alta resistência à flexão lateral, como em vigas e estruturas secundárias. Conforme Silva e Santos (2018), são indicados para estruturas de menor porte e com menos demanda de carga.
- Perfis Tubulares: Podem ser circulares, quadrados ou retangulares, e são reconhecidos pela excelente resistência à torção e compressão axial. Esses perfis são recomendados para estruturas que exigem leveza e resistência, como passarelas, torres e estruturas sujeitas a esforços laterais, conforme definido na ABNT NBR 8261:2003.
- Perfis L (Cantoneiras): Utilizados em estruturas de menor porte ou em combinações com outros perfis para reforço estrutural. Segundo Almeida (2020), são muito empregados em contraventamentos e em ligações estruturais devido à facilidade de soldagem e montagem.

2.6.4 Perfis para Contraventamento

O contraventamento é uma técnica essencial para garantir a estabilidade de edificações metálicas, especialmente em regiões sujeitas a ventos fortes ou cargas sísmicas. Os perfis usados em contraventamento, conforme a ABNT NBR 8800:2008, incluem:

- Perfis L (Cantoneiras): Utilizados em contraventamentos diagonais, proporcionando leveza e resistência. Segundo Pereira (2020), esses perfis são frequentemente usados em sistemas cruzados de contraventamento.
- Perfis Tubulares: Indicados para contraventamentos em torres e edifícios altos, devido à sua excelente resistência à compressão e à torção, conforme sugerido por Ribeiro (2021).

Os formatos de contraventamento podem variar de acordo com o tipo de estrutura e os esforços atuantes. Os formatos mais comuns incluem:

- Contraventamento em X: Utilizado em estruturas sujeitas a esforços laterais intensos, proporcionando rigidez e distribuição uniforme dos esforços, conforme Silva (2019).
- Contraventamento em Chevron: Amplamente empregado em estruturas industriais, o Chevron é indicado para reforço de vigas e colunas, conforme descrito por Alves (2018).

2.7 CÁLCULO DE ESTRUTURAS METÁLICAS

O cálculo de estruturas metálicas envolve uma série de etapas essenciais, incluindo a análise de cargas aplicadas, determinação dos esforços internos, verificação das flechas admissíveis e dimensionamento dos elementos estruturais. Segundo Castro e Silva (2017), a análise correta das forças e deformações garante a segurança e a durabilidade da construção. Para esse fim, o uso de softwares como o Cype 3D é crucial, pois permite a modelagem precisa e a simulação de diferentes condições de carga, facilitando o processo de cálculo e reduzindo a possibilidade de erros (Melo, 2019).

De acordo com Lima et al. (2018), o cálculo estrutural em projetos de estruturas metálicas envolve a análise das cargas atuantes, como cargas permanentes (peso próprio da estrutura, revestimentos, equipamentos), cargas acidentais (vento, sismo) e cargas variáveis (carga viva, sobrecargas). Essas cargas são consideradas na determinação dos esforços atuantes nos elementos estruturais, como vigas, pilares e lajes.

Para garantir a resistência e estabilidade da estrutura, é necessário verificar os esforços solicitantes em relação às capacidades de resistência dos materiais utilizados. Conforme destacado por Oliveira et al. (2020), o cálculo de estruturas metálicas considera as propriedades

mecânicas dos materiais, como a resistência à tração, compressão e flexão, para dimensionar adequadamente os elementos estruturais.

Além disso, a verificação de flechas é uma etapa importante no cálculo de estruturas metálicas. Segundo Araújo et al. (2019), as flechas são deformações verticais que podem ocorrer nos elementos estruturais devido às cargas atuantes. Essas deformações devem ser controladas para evitar desconforto, problemas estéticos e comprometimento da segurança da estrutura. O software Cype 3D oferece recursos para realizar a verificação de flechas e dimensionar os elementos de acordo com as limitações estabelecidas pelas normas técnicas.

Nesse contexto, o uso de softwares como o Cype 3D proporciona uma abordagem mais precisa e eficiente no cálculo de estruturas metálicas. Conforme ressaltado por Soares et al. (2017), o uso de softwares especializados permite uma análise mais detalhada, considerando diferentes tipos de carregamentos e fornecendo resultados confiáveis para o projeto estrutural.

Portanto, o cálculo de estruturas metálicas, abrangendo aspectos como cargas, esforços, flechas e resistências, requer a utilização de ferramentas especializadas, como o Cype 3D, para garantir a segurança e a qualidade do projeto.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 ANÁLISE TOPOGRÁFICA DO LOCAL

O Morro de Bom Jesus da Lapa, localizado no sertão baiano, eleva-se a aproximadamente 92 metros de altura e apresenta uma topografia acidentada, com encostas íngremes e formações rochosas cársticas. Esses fatores impõem desafios significativos para a instalação de um sistema de transporte vertical. A análise detalhada do terreno foi fundamental para determinar a viabilidade da construção de um poço vertical e a preservação das características naturais do local (MACHADO, 2017; SANTOS, 2019).

3.2 ESCOLHA DO TIPO DE ELEVADOR

A decisão de utilizar um elevador vertical foi baseada em critérios técnicos e práticos:

1. **Facilidade de Instalação:** A construção de um poço vertical é menos complexa em termos de engenharia comparada aos sistemas inclinados. A escolha por um elevador vertical facilita o processo de construção, considerando o terreno íngreme e irregular do morro (PEREIRA, 2018).

2. **Capacidade de Carga e Velocidade:** Elevadores verticais oferecem maior capacidade de carga e de velocidade de operação, o que é essencial para atender ao grande volume de visitantes que o Morro de Bom Jesus da Lapa recebe anualmente. A eficiência no transporte de passageiros contribui para uma melhor experiência dos visitantes e para a gestão eficaz dos fluxos de pessoas durante eventos de grande afluência, como as romarias (ALMEIDA, 2020).

3. **Variedade e Disponibilidade de Modelos:** A escolha de um modelo adequado foi facilitada pela ampla gama de elevadores disponíveis no mercado, permitindo selecionar uma solução que atendesse às necessidades do projeto em termos de capacidade, eficiência e integração visual ao local (MACHADO, 2017).

3.3 COMPARAÇÃO DE MODELOS DISPONÍVEIS NO CATÁLOGO

Para a escolha do modelo de elevador vertical adequado ao projeto no Morro de Bom Jesus da Lapa, foi utilizado o catálogo da empresa Schindler Elevadores, uma das principais fornecedoras de soluções de transporte vertical no mercado.

A Atlas Schindler oferece uma ampla gama de elevadores, adaptáveis a diferentes necessidades e condições de instalação. Foram considerados quatro modelos específicos do catálogo da Schindler para a análise comparativa:

1. Schindler 3000:

- Velocidade: Até 2,5 m/s;
- Capacidade de Carga: 400 a 1350 kg;
- Altura Máxima: Até 105 metros;
- Vantagens: Flexibilidade arquitetônica, eficiência energética e várias opções de design.

2. Schindler 5000 (Modelo Escolhido):

- Velocidade: Até 3 m/s;
- Capacidade de Carga: 630 a 2500 kg;
- Altura Máxima: Até 150 metros;
- Vantagens: Alta performance, ideal para prédios de média e grande altura, tecnologia avançada e compatível com o fluxo intenso de pessoas.

3. Schindler 7000:

- Velocidade: Até 10 m/s;
- Capacidade de Carga: 1600 a 5000 kg;
- Altura Máxima: Até 500 metros;
- Vantagens: Projetado para arranha-céus, alta capacidade e velocidade, mas excede as necessidades do projeto em Bom Jesus da Lapa.

4. Schindler 2600:

- Velocidade: Até 1,6 m/s;
- Capacidade de Carga: 630 a 4000 kg;
- Altura Máxima: Até 65 metros;
- Vantagens: Robusto, ideal para transporte de carga, mas com velocidade inferior ao necessário para o projeto.

A escolha do Schindler 5000 (Figura 5) foi motivada por seu excelente equilíbrio entre capacidade, velocidade, consumo de energia e manutenção. Ele oferece desempenho superior

ao Schindler 3000, sendo mais rápido e suportando maior carga, sem chegar ao nível excessivo de capacidade e custos dos modelos Schindler 6000 e 7000. Para vencer a altura de 92 metros, o Schindler 5000 se mostrou a escolha mais adequada para o projeto, considerando a eficiência no transporte dos visitantes e a economia de longo prazo.

Figura 5 – Modelo Schindler 5000 (a – externo; b – interno).



Fonte: Atlas Schindler (www.schindler.com.br)

3.4 LEVANTAMENTO DE PARÂMETROS PARA O DIMENSIONAMENTO DO ELEVADOR

Os parâmetros técnicos considerados para o dimensionamento do elevador foram baseados nas especificações do modelo Schindler 5000 e nas características topográficas do Morro de Bom Jesus da Lapa:

- Altura Total do Morro: 92 metros;
- Profundidade do Poço: 1,5 metros;
- Altura da Casa de Máquinas: 1,5 metros;
- Capacidade de Carga: 630 a 2500 kg;
- Velocidade: Até 3 m/s;
- Dimensões da Cabina: Largura de até 1600 mm, profundidade de até 2100 mm e altura de até 2450 mm.

Esses parâmetros foram estabelecidos para garantir que o elevador fosse capaz de transportar os visitantes de forma eficiente, atendendo às normas de segurança e acessibilidade, enquanto minimizava o impacto ambiental e visual na área histórica do morro.

3.5 FERRAMENTAS E SOFTWARES

3.5.1 Especificações do Hardware Utilizado

- Processador: Intel® Core™ i3-4005U CPU @ 1.70GHz, 1.70 GHz
- Memória RAM: 4.00 GB
- Sistema Operacional: Windows 64 bits

3.5.2 Softwares Utilizados

O projeto utilizou a versão 2019 do CYPE 3D, licenciada para análise estrutural. Esse software permitiu o cálculo de deformações, distribuição de nós e definição de contraventamentos, atendendo às especificações normativas para estruturas metálicas.

3.6 MODELAGEM DA ESTRUTURA NO CYPE 3D

Para a modelagem da estrutura da torre de sustentação, o software CYPE 3D foi utilizado para simular o comportamento da estrutura metálica sob diferentes condições de carga e critérios de falha. A torre projetada tem uma altura total de 95 metros, composta por pilares metálicos, vigas e contraventamentos em “X”. A modelagem seguiu as normas NBR 8800 para estruturas metálicas, considerando as forças externas como cargas permanentes, variáveis, e as forças de vento de acordo com a NBR 6123.

O processo de modelagem pode ser dividido em várias etapas essenciais:

3.6.1 Definição da Geometria

A estrutura foi definida em termos de:

- **Altura total:** 95 metros (1,5m para o poço e 1,5m para a casa de máquinas).

- **Base:** 2 metros de largura e 3 metros de profundidade, com 17 nós distribuídos ao longo da altura da torre.
- **Contraventamento:** X em todas as laterais para garantir estabilidade frente a cargas horizontais, como o vento.
- **Perfis metálicos:** Utilizados perfis W e L conforme a norma, com dimensionamento baseado na carga atuante e nas necessidades estruturais específicas.

3.6.2 Cargas Aplicadas

As cargas aplicadas na estrutura foram divididas em três tipos principais:

Cargas permanentes: Para este projeto, realizamos o cálculo da carga do elevador a ser instalado, utilizando o modelo Schindler 5000. Considerando as dimensões da cabine e a capacidade de carga máxima, o valor da carga foi distribuído pela área total da base do elevador.

Dados do elevador:

- **Capacidade de carga do elevador:** 2.500 kg.
- **Peso do elevador:** 3.000 kg.
- **Peso total considerado (carga + elevador):** 5.500 kg (ou 5,5 toneladas).
- **Dimensões da cabine:** 1,6 metros de largura e 2,1 metros de profundidade.

A área total da base do elevador é dada por:

$$A = 1,6 \text{ m} \times 2,1 \text{ m} = 3,36 \text{ m}^2$$

Para calcular a carga por metro quadrado, distribuimos a carga total de 5,5 toneladas pela área de 3,36 m²:

$$\text{Carga por metro quadrado} = \frac{5,5 \text{ ton}}{3,36 \text{ m}^2} = 1,637 \text{ t/m}^2$$

Este valor de **1,637 t/m²** representa a carga distribuída sobre a área da cabine, que foi aplicada como uma carga permanente no modelo do Cype 3D.

Cargas de vento: O cálculo da carga de vento é essencial em estruturas metálicas de grande altura, como no caso deste elevador para acesso ao morro de Bom Jesus da Lapa, com 95 metros de altura. A análise do vento foi realizada de acordo com a **NBR 6123:1988**, que define as forças devidas ao vento em edificações.

Parâmetros Considerados

- **Velocidade básica do vento (V_0):** 30 m/s (obtida conforme os dados climáticos da região de Bom Jesus da Lapa).
- **Altura da estrutura (h):** 95 metros.
- **Área exposta ao vento (A):** Área frontal exposta, definida pelas dimensões de 2 metros de largura e 95 metros de altura.
- **Fator topográfico (S_1):** 1,0 (considerando que a estrutura está próxima ao morro, o fator topográfico é considerado para evitar aumento de forças de vento em regiões elevadas).
- **Fator de rugosidade do terreno (S_2):** 0,85 (para a categoria de terreno tipo II, moderadamente rugoso, de acordo com a NBR 6123).
- **Fator estatístico (S_3):** 1,0 (considerando o período de retorno de 50 anos).

A pressão dinâmica do vento é calculada pela equação:

$$q = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2$$

onde:

- ρ é a densidade do ar (1,225 kg/m³),
- V é a velocidade do vento em m/s.

Assim, a pressão dinâmica pode ser calculada como:

$$q = \frac{1}{2} \cdot 1,225 \cdot 30^2 = 551,25 \text{ N/m}^2$$

Fator de Forma (C_f)

Para uma estrutura metálica aberta, com contraventamento em "X" em todas as laterais, o fator de forma é determinado como $C_f = 1,2$, que é aplicável a estruturas com perfis que oferecem pouca resistência ao vento.

Pressão de Vento

A pressão do vento agindo sobre a estrutura é dada pela equação:

$$p = q \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \cdot C_f$$

Substituindo os valores:

$$p = 551,25 \text{ N/m}^2 \cdot 1,0 \cdot 0,5 \cdot 1,0 \cdot 1,2 = 0,561 \text{ kN/m}^2$$

Convertendo para toneladas por metro quadrado (t/m^2):

$$p = 0,561 \text{ kN/m}^2 = 0,057 \text{ t/m}^2$$

- **Cargas dinâmicas:** Consideram as forças geradas durante o movimento do elevador, como aceleração, desaceleração e vibrações.

3.6.3 Análise Estrutural

A análise estrutural envolveu o cálculo de deformações e tensões em cada componente da estrutura. Foram considerados os seguintes aspectos:

- **Deformações e deslocamentos:** O comportamento da estrutura foi monitorado quanto às deformações longitudinais e transversais. Essas deformações foram comparadas com os limites normativos para garantir que a estrutura mantivesse a integridade durante sua operação.
- **Tensões nos perfis metálicos:** A resistência dos perfis metálicos foi avaliada com base nos esforços solicitantes (compressão, tração e flexão), aplicados aos nós e às barras. O objetivo foi garantir que as tensões atuantes não ultrapassassem a resistência dos materiais utilizados (aço A-572 de 345 MPa).

- Critérios de falha: O software CYPE 3D utiliza vários critérios de falha, como flambagem, limites de deformação e tensões excessivas. A análise de flambagem foi realizada para verificar a estabilidade global e local dos elementos estruturais, especialmente para evitar colapsos em regiões críticas.

3.7 CRITÉRIOS DE FALHA CONSIDERADOS NO CYPE 3D

Para garantir a segurança e funcionalidade da estrutura, o CYPE 3D avalia uma série de critérios de falha, com os mais relevantes sendo:

3.7.1 Flambagem

A flambagem ocorre quando um elemento comprimido é sujeito a uma carga crítica que provoca seu colapso. No CYPE 3D, as seções dos pilares e vigas foram dimensionadas para evitar essa falha, considerando os coeficientes de segurança recomendados pelas normas.

3.7.2 Limites de Deformação

Os limites de deformação são controlados para garantir que a estrutura não apresente deslocamentos excessivos que possam comprometer sua função. Deformações excessivas podem afetar o alinhamento e o desempenho do elevador.

3.7.3 Tensões Excedentes

O software calcula as tensões nas barras da estrutura, comparando os valores obtidos com a resistência do material utilizado. Caso as tensões excedam os limites admissíveis, ajustes no dimensionamento são realizados, como aumento na seção transversal dos perfis ou inclusão de reforços.

3.7.4 Cargas de Vento e Vibrações

Considerando a altura elevada da estrutura, as cargas de vento e vibrações geradas durante o funcionamento do elevador são importantes. O CYPE 3D analisa o comportamento dinâmico

da estrutura para garantir que essas forças não causem instabilidades ou problemas de ressonância.

3.8 REFINAMENTO DE DADOS NO CYPE 3D

O CYPE 3D permite a identificação de áreas de maior sollicitação estrutural e possibilita ajustes nos perfis metálicos, garantindo a segurança e eficiência da estrutura com o mínimo de material possível.

3.9 SELEÇÃO DE MATERIAIS

A escolha do material é fundamental para garantir a durabilidade e segurança da estrutura. O aço A-572 de 345 MPa foi selecionado por sua alta resistência mecânica e boa ductilidade, além de sua capacidade de suportar condições ambientais adversas, como umidade e variações térmicas.

3.10 PASSO A PASSO NO CYPE 3D

1. **Configuração inicial:** Definiu-se o tipo de estrutura como “estrutura metálica” e configurou-se o projeto para considerar um elevador de 95 metros de altura.

2. **Definição da geometria:**
 - Inseriu-se a base da estrutura com dimensões de 2 metros de largura e 3 metros de profundidade.
 - Distribuíram-se 17 nós ao longo da altura da estrutura para suportar o elevador.

3. **Aplicação das cargas:**
 - Aplicou-se a carga distribuída de 1,637 t/m² nas áreas que suportarão o elevador, configurando-a como uma “carga permanente”.
 - Adicionaram-se cargas de vento em um dos lados da estrutura, configurando a direção e magnitude conforme o cálculo baseado na velocidade do vento de 30 m/s.

4. Contraventamento:

- Inseriu-se o contraventamento em “X” em todas as laterais da estrutura para garantir a estabilidade frente a cargas horizontais, especialmente o vento.

5. Perfis metálicos:

- Escolheram-se os perfis metálicos adequados para vigas e pilares, conforme os perfis W e L disponíveis no software, de acordo com as recomendações de normas como a NBR 8800.

6. Definição do material utilizado:

Selecionou-se o material das vigas o aço A-572 de 345 Mpa, devido a sua sua alta resistência mecânica e boa ductilidade.

7. Análise de cargas:

- Verificaram-se as cargas aplicadas em todos os nós da estrutura e simulou-se a distribuição das cargas ao longo de toda a estrutura, garantindo que não houvesse sobrecarga em pontos específicos.

8. Verificação da flambagem:

- Executou-se o cálculo de flambagem e avaliaram-se os locais com maior propensão a falhas, ajustando o dimensionamento dos perfis conforme necessário para garantir a segurança estrutural.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 INTRODUÇÃO AOS RESULTADOS

O trabalho teve como objetivo o dimensionamento e cálculo de uma estrutura metálica para suportar o elevador de acesso ao topo do Morro de Bom Jesus da Lapa, utilizando o software CYPE 3D. O projeto não foi executado fisicamente, mas sim simulado e dimensionado para atender às necessidades estruturais e aos requisitos de acessibilidade, em conformidade com a Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (Lei nº 13.146/2015). A estrutura foi projetada com pilares metálicos e contraventamentos em “X” em todas as laterais da torre, totalizando uma altura de 95 metros. Foram considerados 17 nós distribuídos ao longo da altura, para garantir a adequada distribuição das cargas e estabilidade contra esforços externos, como o vento e a flambagem.

4.2 ESCOLHA DO ELEVADOR

O elevador modelo Schindler 5000 foi selecionado devido às suas características técnicas, incluindo:

- Peso total: 3.000 kg;
- Capacidade de carga: 2.500 kg.

O elevador foi escolhido não apenas por atender às condições locais, mas também por cumprir as normas de acessibilidade, assegurando o transporte seguro e eficiente de todos os visitantes, inclusive pessoas com mobilidade reduzida.

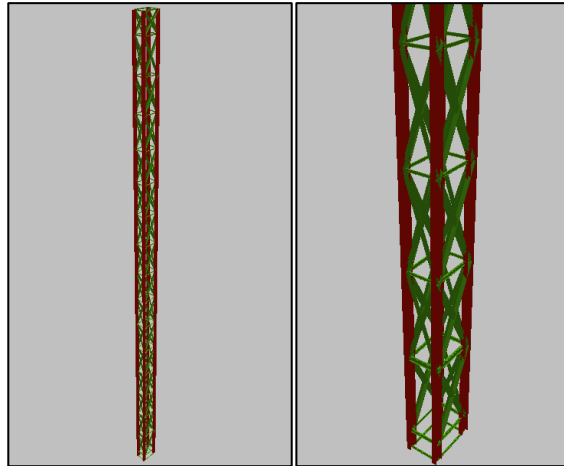
4.3 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO NO SOFTWARE CYPE 3D

4.3.1 Modelagem e Análise com CYPE 3D:

Utilizando o CYPE 3D, modelou-se a torre considerando todos os elementos estruturais, como vigas, colunas e contraventamentos, como mostra Figura 6. O software permitiu a simulação de cargas estáticas e dinâmicas, analisando os esforços e deformações na estrutura.

Através do CYPE 3D, verificou-se a resistência dos materiais e a estabilidade da estrutura sob diferentes condições de carga. O software também possibilitou a otimização da estrutura, identificando áreas onde podem ser feitas reduções de material sem comprometer a segurança (CYPE, 2020).

Figura 6 - Imagens 3D da Estrutura - Cype 3D



Fonte: (Autor)

4.4 FATOR DE SEGURANÇA PARA ESTRUTURA DO ELEVADOR

Avaliando os resultados da análise estrutural da barra que sofreu o maior esforço na estrutura do elevador de acesso ao morro de Bom Jesus da Lapa. A barra analisada corresponde ao perfil W 610 x 174, fabricada em aço A-572 (345 MPa), barra N5/N12, localizada na base da estrutura. As verificações foram realizadas de acordo com a ABNT NBR 8800:2008, incluindo resistência à compressão, flexão, esforço cortante, torção e interações entre esses esforços. A seguir, são discutidos os resultados obtidos, calculos apresentados no Anexo 1.

4.4.1 Combinações de Ações

Foram levadas em consideração as seguintes combinações de ações no cálculo estrutural:

- Ação permanente (G_k): peso próprio da estrutura e demais cargas permanentes;
- Ação variável (Q_k): como o vento, cargas de serviço, etc.;

- Coeficientes de segurança: γ_G e γ_Q para ações permanentes e variáveis, além dos coeficientes de combinação ψ para consideração dos estados limites últimos (ELU) e de serviço (ELS).

4.4.2 Limitação do Índice de Esbeltez

Conforme a norma ABNT NBR 8800:2008 (Artigo 5.3.4), o índice de esbeltez (λ) da barra foi verificado para garantir que não ultrapasse o valor máximo de $\lambda \leq 200$. Os resultados indicaram que a barra passou nesse critério, com λ no plano ZX sendo 32,3, significativamente inferior ao limite estabelecido. Este resultado assegura que o perfil não apresentará problemas de flambagem.

4.4.3 Resistência à Tração

A resistência à tração da barra foi verificada de acordo com o Artigo 5.2 da ABNT NBR 8800:2008. No entanto, devido à ausência de esforços axiais de tração atuantes sobre o perfil, essa verificação foi considerada não aplicável (N.P.).

4.4.4 Resistência à Compressão

A resistência à compressão da barra foi analisada com base no Artigo 5.3 da ABNT NBR 8800:2008. No ponto crítico da barra ($x = 0$ m), o coeficiente de aproveitamento (η) foi de 32,3, o que indica que a força axial de compressão está significativamente abaixo da capacidade resistente do perfil. Isso garante que a barra está adequadamente dimensionada para resistir às forças de compressão atuantes com ampla margem de segurança.

4.4.5 Resistência à Flexão

As verificações de resistência à flexão foram realizadas nos eixos X e Y, conforme o Artigo 5.4.2 da ABNT NBR 8800:2008. Para o eixo X, o coeficiente de aproveitamento (η) foi de 6,7, e para o eixo Y, η foi de 24,8. Esses valores indicam que o perfil está trabalhando com menos de um quarto de sua capacidade máxima em ambos os eixos, garantindo que ele pode suportar os momentos fletores atuantes sem problemas.

4.4.6 Resistência ao Esforço Cortante

A resistência ao esforço cortante foi analisada para os eixos X e Y, de acordo com o Artigo 5.4.3 da ABNT NBR 8800:2008. No eixo X, o coeficiente de aproveitamento (η) foi de 1,7, enquanto no eixo Y, o valor foi de 5,4. Esses resultados mostram que a barra está operando muito abaixo da sua capacidade máxima de resistência ao cortante, garantindo a segurança estrutural quanto a esse tipo de esforço.

4.4.7 Resistência ao Esforço Axial e Flexão Combinados

A interação entre o esforço axial e flexão foi analisada de acordo com o Artigo 5.5.1.2 da ABNT NBR 8800:2008. O coeficiente de aproveitamento obtido ($\eta = 60,3$) indica que a barra está operando dentro dos limites estabelecidos pela norma, com capacidade de suportar a interação entre os esforços atuantes com segurança.

4.4.8 Resistência à Torção

A resistência à torção foi verificada de acordo com o Artigo 5.5.2.1 da ABNT NBR 8800:2008. A barra apresentou um coeficiente de aproveitamento (η) de 1,5, o que indica que os esforços torcionais são desprezíveis em relação à capacidade resistente do perfil. Isso assegura que a estrutura está segura quanto aos efeitos de torção.

4.4.9 Resistência ao Momento de Torção, Força Axial, Momento Fletor e Cortante Combinados

As verificações para resistência ao momento de torção, força axial, momento fletor e cortante combinados foram analisadas conforme o Artigo 5.5.2.2 da ABNT NBR 8800:2008. Neste caso, as verificações foram consideradas não aplicáveis (N.P.), já que a norma não contempla especificamente esse tipo de análise para o perfil estudado.

4.4.10 Resistência a Interações de Esforços e Momento de Torção

A resistência às interações de esforços e momento de torção foi verificada de acordo com o Artigo 5.5.2.3 da ABNT NBR 8800:2008. O coeficiente de aproveitamento (η) foi de 65,6,

indicando que a barra está operando próxima a dois terços de sua capacidade para resistir a essas interações, ainda dentro dos limites de segurança estabelecidos pela norma.

4.4.11 Cálculo do Fator de Segurança

Para calcular o fator de segurança (FS), utilizamos a seguinte fórmula:

$$FS = \frac{\sigma_{\text{escoamento}}}{\sigma_{\text{desenvolvida}}}$$

Onde:

- $\sigma_{\text{escoamento}}$ é a tensão de escoamento do material.
- $\sigma_{\text{desenvolvida}}$ é a tensão que está sendo aplicada no elemento.

Passo 1: Determinação da tensão de escoamento do material

O perfil utilizado é de aço A572 com uma tensão de escoamento $\sigma_{\text{escoamento}} = 345 \text{ MPa}$, conforme especificado.

Passo 2: Determinação da tensão desenvolvida no elemento

A tensão desenvolvida no elemento pode ser determinada a partir do coeficiente de aproveitamento (η). No caso da barra, foi dado que o coeficiente de aproveitamento para o esforço axial (η) é de 65,6%, o que significa que a tensão aplicada corresponde a 65,6% da capacidade do perfil.

Sabendo que $\eta = \frac{\sigma_{\text{escoamento}}}{\sigma_{\text{desenvolvida}}}$, podemos rearranjar a fórmula para calcular $\sigma_{\text{desenvolvida}}$:

$$\sigma_{\text{desenvolvida}} = \eta \times \sigma_{\text{escoamento}} = 0,656 \times 345 \text{ MPa} = 226,32 \text{ MPa}$$

Passo 3: Cálculo do fator de segurança

Agora que temos a tensão de escoamento e a tensão desenvolvida, podemos calcular o fator de segurança:

$$FS = \frac{345 \text{ MPa}}{226,32 \text{ MPa}} \approx 1,52$$

Esse valor de 1,52 indica que a estrutura tem uma margem de segurança de 52% em relação à tensão de escoamento, o que é considerado adequado para o tipo de aplicação projetada, garantindo que a estrutura opere de maneira segura e eficiente.

4.4.12 Considerações Finais

Os resultados obtidos com o software CYPE 3D confirmam que a barra de maior esforço, perfil W 610 x 174, projetada com aço A-572 (345 MPa), atende aos critérios de segurança da ABNT NBR 8800:2008. As verificações de flambagem, compressão, flexão, esforço cortante, torção e interações entre esforços foram todas aprovadas, com os coeficientes de aproveitamento dentro dos limites normativos. Isso indica que a estrutura projetada é capaz de suportar as cargas combinadas com segurança, permitindo a instalação de um elevador acessível e resistente aos esforços previstos.

Os resultados mostram que a estrutura metálica do elevador será robusta e eficiente, garantindo a acessibilidade e segurança dos visitantes ao morro de Bom Jesus da Lapa, contribuindo para o desenvolvimento turístico inclusivo da região.

5 CONCLUSÕES

O presente trabalho teve como objetivo projetar a estrutura metálica de um elevador de acesso ao morro de Bom Jesus da Lapa, utilizando o software CYPE 3D para a análise estrutural e dimensionamento. O projeto incluiu a consideração de ações permanentes, variáveis e ambientais, como o vento, de acordo com as normas vigentes, especialmente a NBR 8800:2008. Os resultados obtidos por meio das simulações confirmaram que a estrutura projetada é capaz de suportar as cargas combinadas de maneira segura, respeitando os critérios normativos e os estados limites últimos (ELU) e de serviço (ELS).

Além disso, o estudo abordou a relevância da acessibilidade, tanto do ponto de vista técnico quanto social. A instalação de um elevador no local é uma solução que promove a inclusão, permitindo que pessoas com mobilidade reduzida possam acessar um ponto turístico de importância cultural e religiosa na região. A robustez do dimensionamento da estrutura metálica, associada à escolha do elevador Schindler 5000, garante um sistema de transporte seguro e eficiente, com capacidade para suportar tanto as cargas permanentes (peso próprio da estrutura e elevador) quanto as variáveis, como o número de passageiros e a ação dos ventos, garantindo o atendimento às necessidades do projeto com folga de segurança.

O impacto social do projeto é evidente, uma vez que o elevador não apenas facilita o acesso de turistas ao topo do morro, mas também promove o desenvolvimento do turismo inclusivo em Bom Jesus da Lapa. A acessibilidade de locais de destaque turístico é um fator determinante para o crescimento econômico e a integração social da região. Dessa forma, o projeto contribui diretamente para a promoção do turismo acessível e a inclusão de pessoas com deficiência ou mobilidade reduzida, além de melhorar a infraestrutura local.

A análise realizada ao longo deste trabalho permitiu verificar a viabilidade técnica da estrutura proposta, atendendo aos critérios de segurança, funcionalidade e durabilidade. O dimensionamento estrutural foi eficaz ao garantir a resistência da estrutura aos esforços combinados, como compressão, flexão e torção, além de considerar a estabilidade global contra efeitos de flambagem. Os coeficientes de aproveitamento obtidos demonstraram que a estrutura está subutilizada, proporcionando uma margem de segurança adicional para variações nas condições de uso ou fatores ambientais não previstos.

Sugestões para Pesquisas Futuras

Para complementar e aprimorar o desenvolvimento deste projeto, recomenda-se as seguintes linhas de pesquisa futuras:

1. **Análise da Plataforma de Acesso:** A análise e o dimensionamento detalhado da plataforma que conectará o elevador ao topo do morro devem ser aprofundados. Isso inclui a verificação da estabilidade da plataforma, a segurança para os usuários, o fluxo de pessoas e a adaptação para pessoas com mobilidade reduzida. A plataforma deve garantir não só a segurança, mas também o conforto dos usuários durante o trajeto.

2. **Estudo Geotécnico do Solo:** Um estudo mais aprofundado das características geotécnicas do solo no local de implantação da estrutura do elevador é imprescindível. A avaliação da capacidade de suporte do solo e de possíveis variações nas condições geológicas locais é fundamental para garantir a durabilidade e a segurança da estrutura, sobretudo considerando o peso da estrutura e as forças exercidas pelas cargas variáveis e permanentes.

3. **Impactos Ambientais:** Sugere-se realizar uma análise mais detalhada dos impactos ambientais que a construção e operação do elevador podem causar ao entorno natural do morro. Isso inclui a preservação do patrimônio natural e a avaliação de medidas de mitigação para minimizar quaisquer impactos negativos sobre o meio ambiente e a paisagem local.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, R. Eficiência no Transporte Vertical. Rio de Janeiro: Editora Técnica, 2020.

ALMEIDA, R. Turismo Religioso no Brasil. São Paulo: Editora de Turismo, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). ABNT NBR 9050: Acessibilidade a Edificações, Mobiliário, Espaços e Equipamentos Urbanos. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 16200:2013 - Elevadores de Passageiros - Requisitos de Segurança para Construção e Instalação. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 8800:2008 - Projeto e Execução de Estruturas de Aço em Edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 9050:2015 - Acessibilidade a Edificações, Mobiliário, Espaços e Equipamentos Urbanos. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14712: Elevadores elétricos e hidráulicos. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14712: Requisitos de segurança para sistemas de transporte vertical de passageiros e cargas. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8800: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9050: Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

BEARDSLEY, W. Funicular Railways: A Historical Perspective. *Journal of Mechanical Engineering*, v. 78, n. 12, p. 45-58, 2006.

BRASIL. Lei n. 13.146, de 06 de julho de 2015. Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/lei/113146.htm. Acesso em: 24 set. 2024.

BRASIL. Ministério da Saúde. Pesquisa Nacional de Saúde 2019. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/saude/9160-pesquisa-nacional-de-saude.html?=&t=o-que-e>. Acesso em: 24 set. 2024.

BROWN, J. *Elevator Cable Systems*. New York: Engineering Press, 2018.

BROWN, J. *User Experience in Modern Elevators*. London: Urban Transport Publishing, 2020.

CYPE Ingenieros. *CYPE 3D: Structural Analysis Software*. Versão 2019. Alicante: CYPE Ingenieros, 2019. Disponível em: <https://info.cype.com/en/software/cype-3d/>. Acesso em: 24 set. 2024.

EL-JOUZOU, R. Sistemas de tráfego teleférico. In: *Revista de Engenharia de Transportes*, v. 12, n. 3, p. 45-58, 2016.

FREIGHT CABLEWAYS AVAILABLE. *Innovative Solutions for Modern Transport*. New York: Transport Publishing, 2018.

GARCIA, L. Eficiência e Sustentabilidade no Transporte Urbano: O Caso do Minimetro de Perugia. *Revista Internacional de Mobilidade Urbana*, v. 8, n. 3, p. 45-58, 2015.

IBGE. Censo demográfico 2010. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9662-censo-demografico-2010.html?=&t=o-que-e>. Acesso em: 24 set. 2024.

JOHNSON, M. Motor Technologies in Elevators. Chicago: Mechanical Innovations, 2016.

LAGEREV, A. et al. Cable-Driven Transport Systems. Moscow: Engineering Press, 2019.

LLOYD, J.; CHADWICK, A. Engineering in Ancient Rome. London: Historical Press, 1991.

MACHADO, L. Formações Rochosas e Cársicas no Sertão Baiano. Salvador: Geologia e Meio Ambiente, 2017.

MACHADO, L. Modelos de Elevadores Verticais. São Paulo: Engenharia Moderna, 2017.

MAROCCHI, M. Sistemas de Transporte por Cabos: Inovações e Aplicações Urbanas. Editora Tecnológica, 2011.

MAROCCHI, P. Funiculares e Transportes por Cabo. São Paulo: Editora Técnica, 2011.

MICEK, L. A. Bom Jesus da Lapa: um estudo sobre a formação das grutas. Salvador: EDUFBA, 2006.

MICHIELS, J. Funicular Systems in Modern Transport. International Transport Review, v. 45, p. 95-112, 2013.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. NR 18 - Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção. Brasília: MTE, 2020. ALMEIDA, P. C. Soluções Inovadoras para o Transporte em Áreas de Difícil Acesso. São Paulo: Editora Mobilidade, 2020.

MOURA, A. Desafios de Acessibilidade em Áreas Naturais. Salvador: Editora de Inclusão, 2021.

MOURA, A. Plataformas Elevatórias e Acessibilidade. Rio de Janeiro: Editora de Engenharia, 2021.

OLIVEIRA, J. R. A romaria de Bom Jesus da Lapa: um estudo sobre a participação dos idosos. Salvador: UFBA, 2014.

OLIVEIRA, R. Soluções de Acessibilidade em Patrimônios Históricos. São Paulo: Editora de Arquitetura, 2019.

PEREIRA, M. Exploração de Grutas e Cavernas. Rio de Janeiro: Editora de Aventuras, 2018.

PEREIRA, M. Instalação de Elevadores em Terrenos Desafiadores. Salvador: Construção Civil, 2018.

SANTOS, J. Vegetação da Caatinga e Adaptações Climáticas. Recife: Ecologia e Sustentabilidade, 2019.

SANTOS, P. F.; ALMEIDA, T. R. A Contribuição das Normas Técnicas na Promoção da Acessibilidade em Espaços Naturais. Estudos em Acessibilidade e Turismo Sustentável, v. 4, p. 67-79, 2021.

SCHEINGERT, H. Transportation Systems in Challenging Terrains. Berlin: Springer, 1966.

SILVA, J. Elevadores Inclinados: Aplicações e Tecnologias. São Paulo: Editora Técnica, 2020.

SILVA, J. M.; OLIVEIRA, R. A.; SOUZA, A. C. Turismo Inclusivo: Desafios e Oportunidades para a Acessibilidade em Áreas Naturais. Revista Brasileira de Turismo e Acessibilidade, v. 5, n. 2, p. 123-134, 2020.

SILVA, T. Infraestrutura e Acessibilidade em Áreas Turísticas. Recife: Editora de Turismo, 2020.

SMITH, A. Vertical Growth and Urban Development. Boston: Cityscape Publications, 2010.

SMITH, J. *Modern Engineering Solutions*. New York: Engineering Books, 2007.

SMITH, L. J. *Accessibility and Innovation in Tourism: The Role of Technology in Promoting Inclusive Spaces*. *International Journal of Accessible Tourism*, v. 12, p. 145-158, 2019.

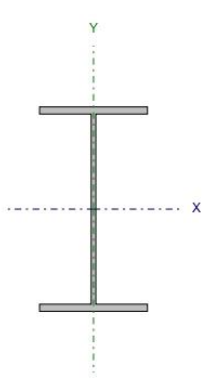
SOUZA, M. A.; MENEZES, J. R. *Planejamento e Escolha de Sistemas de Transporte Urbano*. Rio de Janeiro: Editora Engenharia, 2019.

STEIL, C. A. *Santuários e romarias no Brasil*. Petrópolis: Vozes, 1996.

ZHENG, L. *Advances in Control Systems*. Beijing: Science Press, 2015.

ANEXO 1

Barra N5/N12

Perfil: W 610 x 174 Material: Aço (A-572 345MPa)						
	Nós		Comprimento (m)	Características mecânicas		
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _x ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)
	N5	N12	1.500	222.80	147754.00	12374.00
Notas: ⁽¹⁾ Inércia em relação ao eixo indicado ⁽²⁾ Momento de inércia à torção uniforme						
			Flambagem		Flambagem lateral	
			Plano ZX	Plano ZY	Aba sup.	Aba inf.
β			1.00	1.00	0.00	0.00
L_k			1.500	1.500	0.000	0.000
C_b			-		1.000	
Notação: β : Coeficiente de flambagem L _k : Comprimento de flambagem (m) C _b : Fator de modificação para o momento crítico						

Barra	VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 8800:2008)											Estado
	λ	N _t	N _c	M _x	M _y	V _x	V _y	NM _x M _y	T	NMVT	σ_{Tf}	
N5/N12	$\lambda \leq 200.0$ Passa	N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m $\eta = 32.3$	x: 0 m $\eta = 6.7$	x: 0 m $\eta = 24.8$	$\eta = 1.7$	$\eta = 5.4$	x: 0 m $\eta = 60.3$	$\eta = 1.5$	N.P. ⁽²⁾	x: 0 m $\eta = 65.6$	PASSA $\square = 65.6$
Notação: λ : Limitação do índice de esbeltez N _t : Resistência à tração N _c : Resistência à compressão M _x : Resistência à flexão eixo X M _y : Resistência à flexão eixo Y V _x : Resistência ao esforço cortante X V _y : Resistência ao esforço cortante Y NM _x M _y : Resistência ao esforço axial e flexão combinados T: Resistência à torção NMVT: Resistência ao momento de torção, força axial, momento fletor e cortante σ_{Tf} : Resistência a interações de esforços e momento de torção x: Distância à origem da barra η : Coeficiente de aproveitamento (%) N.P.: Não procede												
Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.P.): ⁽¹⁾ A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de tração. ⁽²⁾ Este caso não está contemplado pela norma e, portanto, não é possível realizar a verificação.												

Limitação do índice de esbeltez (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.3.4)

O índice de esbeltez das barras comprimidas, tomado como o maior relação entre o comprimento de flambagem e o raio de giração, não deve ser superior a 200.

$$\lambda \leq 200$$

$$\square : 20.1 \checkmark$$

Onde:

\square : Índice de esbeltez.

$$\lambda = \frac{K \cdot L}{r}$$

$$\square_x : 5.8$$

$$\square_y : 20.1$$

Sendo:

$K_x \cdot L_x$: Comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo X.

$$K_x \cdot L_x : 1.500 \text{ m}$$

$K_y \cdot L_y$: Comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo Y.

$$K_y \cdot L_y : 1.500 \text{ m}$$

r_x, r_y : Raios de giração em relação aos eixos principais X, Y, respectivamente.

$$r_x : 25.75 \text{ cm}$$

$$r_y : 7.45 \text{ cm}$$

Resistência à tração (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.2)

A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de tração.

Resistência à compressão (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.3)

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{N_{c,Sd}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.323} \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N5, para a combinação de ações
 $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot CP - \text{Peso do elevador} + \text{Capacidade de carga} + 1.4 \cdot \text{Vento}$.

$N_{c,Sd}$: Força axial de compressão solicitante de cálculo, desfavorável.

$$N_{c,Sd} : \underline{215.865} \quad t$$

A força axial de compressão resistente de cálculo, $N_{c,Rd}$, deve ser determinada pela expressão:

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi \cdot Q \cdot A_g \cdot f_y}{\gamma_{a1}}$$

$$N_{c,Rd} : \underline{668.259} \quad t$$

Onde:

χ : Fator de redução total associado à resistência à compressão.

$$\chi : \underline{0.972}$$

Q : Fator de redução total associado à flambagem local.

$$Q : \underline{0.965}$$

A_g : Área bruta da seção transversal da barra.

$$A_g : \underline{222.80} \quad \text{cm}^2$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{3516.82} \quad \text{kgf/cm}^2$$

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

$$\gamma_{a1} : \underline{1.10}$$

Fator de redução χ : (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.3.3)

$$\lambda_0 \leq 1.5 \rightarrow \chi = 0.658^{\lambda_0^2}$$

$$\chi : \underline{0.972}$$

Onde:

λ_0 : Índice de esbeltez reduzido.

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{Q \cdot A_g \cdot f_y}{N_e}}$$

$$\lambda_0 : \underline{0.261}$$

Sendo:

Q : Fator de redução total associado à flambagem local.

$$Q : \underline{0.965}$$

A_g : Área bruta da seção transversal da barra.

$$A_g : \underline{222.80} \quad \text{cm}^2$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{3516.82} \quad \text{kgf/cm}^2$$

N_e : Força axial de flambagem elástica.

$$N_e : \underline{11065.940} \quad t$$

Força axial de flambagem elástica: (ABNT NBR 8800:2008, Anexo E)

A força axial de flambagem elástica, N_e , de uma barra com seção transversal duplamente simétrica ou simétrica em relação a um ponto, é dada pelo menor valor entre os obtidos por (a), (b) e (c):

$$N_e : \underline{11065.940} \quad t$$

(a) Para flambagem por flexão em relação ao eixo principal de inércia X da seção transversal:

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_x}{(K_x \cdot L_x)^2}$$

$$N_{ex} : \underline{132134.876} \quad t$$

Onde:

$K_x \cdot L_x$: Comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo X.

$$K_x \cdot L_x : \underline{1.500} \quad m$$

I_x : Momento de inércia da seção transversal em relação ao eixo X.

$$I_x : \underline{147754.00} \quad \text{cm}^4$$

E : Módulo de elasticidade do aço.

$$E : \underline{2038736} \quad \text{kgf/cm}^2$$

(b) Para flambagem por flexão em relação ao eixo principal de inércia Y da seção transversal:

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{(K_y \cdot L_y)^2}$$

$$N_{ey} : \underline{11065.940} \quad t$$

Onde:

$K_y \cdot L_y$: Comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo Y.

I_y : Momento de inércia da seção transversal em relação ao eixo Y.

E : Módulo de elasticidade do aço.

$$K_y \cdot L_y : \underline{1.500} \text{ m}$$

$$I_y : \underline{12374.00} \text{ cm}^4$$

$$E : \underline{2038736} \text{ kgf/cm}^2$$

(c) Para flambagem por torção em relação ao eixo longitudinal Z:

$$N_{ez} = \frac{1}{r_o^2} \cdot \left[\frac{\pi^2 \cdot E \cdot C_w}{(K_z \cdot L_z)^2} + G \cdot J \right]$$

$$N_{ez} : \underline{\infty}$$

Onde:

$K_z \cdot L_z$: Comprimento de flambagem por torção.

E : Módulo de elasticidade do aço.

C_w : Constante de empenamento da seção transversal.

G : Módulo de elasticidade transversal do aço.

J : Constante de torção da seção transversal.

r_o : Raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de cisalhamento.

$$K_z \cdot L_z : \underline{0.000} \text{ m}$$

$$E : \underline{2038736} \text{ kgf/cm}^2$$

$$C_w : \underline{10915665.00} \text{ cm}^6$$

$$G : \underline{784913} \text{ kgf/cm}^2$$

$$J : \underline{286.88} \text{ cm}^4$$

$$r_o = \sqrt{(r_x^2 + r_y^2 + x_o^2 + y_o^2)}$$

$$r_o : \underline{26.81} \text{ cm}$$

Onde:

r_x, r_y : Raios de giração em relação aos eixos principais X, Y, respectivamente.

$$r_x : \underline{25.75} \text{ cm}$$

$$r_y : \underline{7.45} \text{ cm}$$

x_o, y_o : Coordenadas do centro de cisalhamento na direção dos eixos principais X, Y, respectivamente.

$$x_o : \underline{0.00} \text{ mm}$$

$$y_o : \underline{0.00} \text{ mm}$$

Flambagem local de barras axialmente comprimidas: (ABNT NBR 8800:2008, Anexo F)

As barras submetidas a força axial de compressão, nas quais os elementos componentes da seção transversal possuem relações entre largura e espessura (b/t) maiores que os valores limite dados na Tabela F.1, têm o fator de redução total Q dado por:

$$Q = Q_s \cdot Q_a$$

$$Q : \underline{0.965}$$

Onde:

Q_s : Fator de redução que tem em conta a flambagem local dos elementos AL. Quando existem dois ou mais elementos AL com fatores de redução Q_s diferentes, adota-se o menor destes fatores.

$$Q_s : \underline{1.000}$$

Mesa: Elemento do Grupo 4 da Tabela F.1.

$$(b/t) \leq 0.56 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$7.52 \leq 13.48$$

$$Q_s = 1.000$$

$$Q_s : \underline{1.000}$$

Sendo:

(b/t) : Relação entre largura e espessura.

$$(b/t) : \underline{7.52}$$

Onde:

b : Largura.

$$b : \underline{162.50} \text{ mm}$$

t : Espessura.

$$t : \underline{21.60} \text{ mm}$$

E : Módulo de elasticidade do aço.

$$E : \underline{2038736} \text{ kgf/cm}^2$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{3516.82} \text{ kgf/cm}^2$$

Q_a : Fator de redução que leva em conta a flambagem local dos elementos AA.

$$Q_a = \frac{A_{ef}}{A_g}$$

$$Q_a : \underline{0.965}$$

Sendo:

A_g : Área bruta da seção transversal da barra.

$$A_g : \frac{222.80}{\quad} \text{ cm}^2$$

A_{ef} : Área efetiva da seção transversal da barra.

$$A_{ef} : \frac{215.09}{\quad} \text{ cm}^2$$

$$A_{ef} = A_g - \sum (b - b_{ef}) \cdot t$$

Alma: Elemento do Grupo 2 da Tabela F.1.

$$(b/t) > 1.49 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad \mathbf{40.91 > 35.87}$$

$$b_{ef} = 1.92 \cdot t \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \cdot \left[1 - \frac{C_a}{b/t} \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \right] \leq b \quad b_{ef} : \frac{517.70}{\quad} \text{ mm}$$

Sendo:

(b/t) : Relação entre largura e espessura.

$$(b/t) : \frac{40.91}{\quad}$$

Onde:

b : Largura.

$$b : \frac{572.80}{\quad} \text{ mm}$$

t : Espessura.

$$t : \frac{14.00}{\quad} \text{ mm}$$

E : Módulo de elasticidade do aço.

$$E : \frac{2038736}{\quad} \text{ kgf/cm}^2$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \frac{3516.82}{\quad} \text{ kgf/cm}^2$$

C_a : Coeficiente para elementos que não sejam mesas ou almas de seções tubulares retangulares.

$$C_a : \frac{0.34}{\quad}$$

Resistência à flexão eixo X (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.2)

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{M_{sd}}{M_{Rd}} \leq 1$$

$$\square : \frac{0.067}{\quad} \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N5, para a combinação de ações 1.25·PP+1.25·CP-PesodoelevadoreCapacidadedecarga+1.4·Vento.

M_{sd} : Momento fletor solicitante de cálculo, desfavorável.

$$M_{sd} : \frac{11.594}{\quad} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Já que ' $\lambda \leq \lambda_r$ ', deve-se considerar viga de alma não-esbelta (ABNT NBR 8800:2008, Anexo G).

$$\mathbf{40.91 \leq 137.24}$$

Onde:

$$\lambda = \frac{h}{t_w}$$

$$\square : \frac{40.91}{\quad}$$

Sendo:

h : Altura da alma, tomada igual à distancia entre as faces internas das mesas.

$$h : \frac{572.80}{\quad} \text{ mm}$$

t_w : Espessura da alma.

$$t_w : \frac{14.00}{\quad} \text{ mm}$$

$$\lambda_r = 5.70 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\square_r : \frac{137.24}{\quad}$$

Sendo:

E : Módulo de elasticidade do aço.

$$E : \frac{2038736}{\quad} \text{ kgf/cm}^2$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \frac{3516.82}{\quad} \text{ kgf/cm}^2$$

O momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} de vigas de alma não-esbelta deve ser tomado como o menor valor entre os obtidos nas seguintes seções:

$$M_{Rd} : \frac{172.110}{\quad} \text{ t}\cdot\text{m}$$

(a) Máximo momento fletor resistente de cálculo (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.2.2):

$$M_{Rd} = \frac{1.50 \cdot W \cdot f_y}{\gamma_{a1}}$$

$$M_{Rd} : \frac{230.058}{\quad} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Onde:

W_x : Módulo de resistência elástico mínimo da seção transversal em relação ao eixo de flexão.

$$W_x : \underline{4797.21} \text{ cm}^3$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{3516.82} \text{ kgf/cm}^2$$

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

$$\gamma_{a1} : \underline{1.10}$$

- (b) Estado-límite último de flambagem lateral com torção, FLT (ABNT NBR 8800:2008, Anexo G):

Não é necessário, pois o comprimento de flambagem lateral é nulo.

- (c) Estado-límite último de flambagem local da mesa comprimida, FLM (ABNT NBR 8800:2008, Anexo G):

$$\lambda \leq \lambda_p$$

$$7.52 \leq 9.15$$

$$M_{Rd} = \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}}$$

$$M_{Rd} : \underline{172.110} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Onde:

$$\lambda = \frac{b_f/2}{t_f}$$

$$\square : \underline{7.52}$$

Sendo:

b_f : Largura da mesa comprimida.

$$b_f : \underline{325.00} \text{ mm}$$

t_f : Espessura da mesa comprimida.

$$t_f : \underline{21.60} \text{ mm}$$

$$\lambda_p = 0.38 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\square_p : \underline{9.15}$$

Sendo:

E : Módulo de elasticidade do aço.

$$E : \underline{2038736} \text{ kgf/cm}^2$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{3516.82} \text{ kgf/cm}^2$$

$$M_{pl} = Z \cdot f_y$$

$$M_{pl} : \underline{189.321} \text{ t}$$

Onde:

Z_x : Módulo de resistência plástico.

$$Z_x : \underline{5383.30} \text{ cm}^3$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{3516.82} \text{ kgf/cm}^2$$

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

$$\gamma_{a1} : \underline{1.10}$$

- (d) Estado-límite último de flambagem local da alma, FLA (ABNT NBR 8800:2008, Anexo G):

$$\lambda \leq \lambda_p$$

$$40.91 \leq 90.53$$

$$M_{Rd} = \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}}$$

$$M_{Rd} : \underline{172.110} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Onde:

$$\lambda = \frac{h}{t_w}$$

$$\square : \underline{40.91}$$

Sendo:

h : Altura da alma, tomada igual à distância entre as faces internas das mesas.

$$h : \underline{572.80} \text{ mm}$$

t_w : Espessura da alma.

$$t_w : \underline{14.00} \text{ mm}$$

$$\lambda_p = 3.76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\square_p : \underline{90.53}$$

Sendo:

E : Módulo de elasticidade do aço.

$$E : \underline{2038736} \text{ kgf/cm}^2$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{3516.82} \text{ kgf/cm}^2$$

$$M_{pl} = Z \cdot f_y$$

$$M_{pl} : \underline{189.321} \text{ t}$$

Onde:

Z_x : Módulo de resistência plástico.

$$Z_x : \underline{5383.30} \text{ cm}^3$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{3516.82} \text{ kgf/cm}^2$$

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

$$\gamma_{a1} : \underline{1.10}$$

Resistência à flexão eixo Y (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.2)

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{M_{sd}}{M_{Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.248} \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N5, para a combinação de ações
1.25·PP+1.25·CP-PesodoelevadoreCapacidadedecarga+1.4·Vento.

M_{sd}^+ : Momento fletor solicitante de cálculo, desfavorável.

$$M_{sd}^+ : \underline{6.026} \text{ t}\cdot\text{m}$$

O momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} deve ser tomado como o menor valor entre os obtidos nas seguintes seções:

$$M_{Rd} : \underline{24.345} \text{ t}\cdot\text{m}$$

- (a) Máximo momento fletor resistente de cálculo (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.2.2):

$$M_{Rd} = \frac{1.50 \cdot W \cdot f_y}{\gamma_{a1}}$$

$$M_{Rd} : \underline{36.518} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Onde:

W_y : Módulo de resistência elástico mínimo da seção transversal em relação ao eixo de flexão.

$$W_y : \underline{761.48} \text{ cm}^3$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{3516.82} \text{ kgf/cm}^2$$

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

$$\gamma_{a1} : \underline{1.10}$$

- (b) Estado-límite último de flambagem local da mesa comprimida, FLM (ABNT NBR 8800:2008, Anexo G):

$$\lambda \leq \lambda_p$$

$$7.52 \leq 9.15$$

$$M_{Rd} = \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}}$$

$$M_{Rd} : \underline{37.441} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Onde:

$$\lambda = \frac{b_f/2}{t_f}$$

$$\lambda : \underline{7.52}$$

Sendo:

b_f : Largura da mesa comprimida.

$$b_f : \underline{325.00} \text{ mm}$$

t_f : Espessura da mesa comprimida.

$$t_f : \underline{21.60} \text{ mm}$$

$$\lambda_p = 0.38 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\lambda_p : \underline{9.15}$$

Sendo:

E : Módulo de elasticidade do aço.

$$E : \underline{2038736} \text{ kgf/cm}^2$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{3516.82} \text{ kgf/cm}^2$$

$$M_{pl} = Z \cdot f_y$$

$$M_{pl} : \underline{41.185} \text{ t}$$

Onde:

Z_y : Módulo de resistência plástico.

$$Z_y : \underline{1171.10} \text{ cm}^3$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{3516.82} \text{ kgf/cm}^2$$

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

$$\gamma_{a1} : \underline{1.10}$$

- (c) Estado-límite último de flambagem local da alma, FLA (ABNT NBR 8800:2008, Anexo G):

$$\lambda > \lambda_r$$

$$40.91 > 33.71$$

$$M_{Rd} = \frac{M_{cr}}{\gamma_{a1}} \leq \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}}$$

$$M_{Rd} : \underline{24.345} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Onde:

$$\lambda = \frac{h}{t_w}$$

$$\square : \underline{40.91}$$

Sendo:

h: Altura da alma, tomada igual à distância entre as faces internas das mesas.

$$\mathbf{h} : \underline{572.80} \text{ mm}$$

t_w: Espessura da alma.

$$\mathbf{t_w} : \underline{14.00} \text{ mm}$$

$$\lambda_r = 1.40 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\square_r : \underline{33.71}$$

Sendo:

E: Módulo de elasticidade do aço.

$$\mathbf{E} : \underline{2038736} \text{ kgf/cm}^2$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

$$\mathbf{f_y} : \underline{3516.82} \text{ kgf/cm}^2$$

$$\mathbf{M}_{cr} = \frac{W_{ef}^2}{W} \cdot f_y$$

$$\mathbf{M}_{cr} : \underline{26.780} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Sendo:

W_{ef,y}: Módulo de resistência mínimo elástico, relativo ao eixo de flexão, para uma seção que tem uma mesa comprimida de largura igual a b_{ef} dada por F.3.2, com σ igual a f_y.

$$\mathbf{W_{ef,y}} : \underline{761.48} \text{ cm}^3$$

W_y: Módulo de resistência elástico mínimo da seção transversal em relação ao eixo de flexão.

$$\mathbf{W_y} : \underline{761.48} \text{ cm}^3$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

$$\mathbf{f_y} : \underline{3516.82} \text{ kgf/cm}^2$$

$$\mathbf{M}_{pl} = Z \cdot f_y$$

$$\mathbf{M_{pl}} : \underline{41.185} \text{ t}$$

Onde:

Z_y: Módulo de resistência plástico.

$$\mathbf{Z_y} : \underline{1171.10} \text{ cm}^3$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

$$\mathbf{f_y} : \underline{3516.82} \text{ kgf/cm}^2$$

\square_{s1} : Coeficiente de segurança do material.

$$\square_{s1} : \underline{1.10}$$

Resistência ao esforço cortante X (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.3)

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{V_{Sd}}{V_{Rd}} \leq 1$$

$$\square : \underline{0.017} \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se para a combinação de ações 1.25·PP+1.25·CP-PesodoelevadoreCapacidade decarga+1.4·Vento.

V_{Sd} : Esforço cortante solicitante de cálculo, desfavorável.

$$V_{Sd} : \underline{4.642} \text{ t}$$

A força cortante resistente de cálculo, V_{Rd} , é determinada pela expressão:

$$\lambda \leq \lambda_p$$

$$7.52 \leq 29.01$$

$$V_{Rd} = \frac{V_{pl}}{\gamma_{a1}}$$

$$V_{Rd} : \underline{269.324} \text{ t}$$

Onde:

$$\lambda = \frac{b_f/2}{t_f}$$

$$\square : \underline{7.52}$$

Sendo:

b_f : Largura das mesas.

$$b_f : \underline{325.00} \text{ mm}$$

t_f : Espessura das mesas.

$$t_f : \underline{21.60} \text{ mm}$$

$$\lambda_p = 1.10 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}}$$

$$\square_p : \underline{29.01}$$

Sendo:

k_v : Coeficiente de flambagem.

$$k_v : \underline{1.20}$$

E : Módulo de elasticidade do aço.

$$E : \underline{2038736} \text{ kgf/cm}^2$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{3516.82} \text{ kgf/cm}^2$$

$$V_{pl} = 0.60 \cdot A_w \cdot f_y$$

$$V_{pl} : \underline{296.257} \text{ t}$$

Sendo:

A_w : Área efetiva ao cisalhamento.

$$A_w = 2 \cdot b_f \cdot t_f$$

$$A_w : \underline{140.40} \text{ cm}^2$$

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

$$\gamma_{a1} : \underline{1.10}$$

Resistência ao esforço cortante Y (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.3)

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{V_{Sd}}{V_{Rd}} \leq 1$$

$$\square : \underline{0.054} \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se para a combinação de ações

1.25·PP+1.25·CP-PesodoelevadoreCapacidadedecarga+1.4·Vento.

V_{Sd} : Esforço cortante solicitante de cálculo, desfavorável.

$$V_{Sd} : \underline{9.003} \text{ t}$$

A força cortante resistente de cálculo, V_{Rd} , é determinada pela expressão:

$$\lambda \leq \lambda_p$$

$$40.91 \leq 59.22$$

$$V_{Rd} = \frac{V_{pl}}{\gamma_{a1}}$$

$$V_{Rd} : \underline{165.431} \text{ t}$$

Onde:

$$\lambda = \frac{h}{t_w}$$

$$\square : \underline{40.91}$$

Sendo:

h: Altura da alma, tomada igual à distancia entre as faces internas das mesas.

$$h : \underline{572.80} \text{ mm}$$

t_w: Espessura da alma.

$$t_w : \underline{14.00} \text{ mm}$$

$$\lambda_p = 1.10 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}}$$

$$\square_p : \underline{59.22}$$

Sendo:

k_v: Coeficiente de flambagem.

$$k_v : \underline{5.00}$$

E: Módulo de elasticidade do aço.

$$E : \underline{2038736} \text{ kgf/cm}^2$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{3516.82} \text{ kgf/cm}^2$$

$$V_{pl} = 0.60 \cdot A_w \cdot f_y$$

$$V_{pl} : \underline{181.974} \text{ t}$$

Sendo:

A_w: Área efetiva ao cisalhamento.

$$A_w = d \cdot t_w$$

$$A_w : \underline{86.24} \text{ cm}^2$$

d: Altura total da seção transversal.

$$d : \underline{616.00} \text{ mm}$$

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

$$\gamma_{a1} : \underline{1.10}$$

Resistência ao esforço axial e flexão combinados (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.5.1.2)

Deve satisfazer:

$$\eta \leq 1$$

$$\square : \underline{0.603} \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N5, para a combinação de ações

1.25·PP+1.25·CP-PesodoelevadoreCapacidadedecarga+1.4·Vento.

$N_{c,Sd}$: Força axial de compressão solicitante de cálculo, desfavorável.

$$N_{c,Sd} : \underline{215.865} \text{ t}$$

$M_{x,Sd}$: Momento fletor solicitante de cálculo, desfavorável.

$$M_{x,Sd} : \underline{11.594} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$M_{y,Sd}$: Momento fletor solicitante de cálculo, desfavorável.

$$M_{y,Sd} : \underline{6.026} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$N_{Sd} / N_{Rd} \geq 0.2$$

$$\mathbf{0.323} \geq \mathbf{0.200}$$

$$\eta = \frac{N_{c,Sd}}{N_{c,Rd}} + \frac{8}{9} \cdot \left(\frac{M_{x,Sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} \right) \leq 1$$

$$\square : \underline{0.603}$$

Onde:

$N_{c,Rd}$: Força axial resistente de cálculo de compressão (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.3).

$$N_{c,Rd} : \underline{668.259} \text{ t}$$

$M_{x,Rd}$, $M_{y,Rd}$: Momentos fletores resistentes de cálculo, respectivamente em relação aos eixos X e Y da seção transversal (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.2).

$$M_{x,Rd} : \underline{172.110} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Rd} : \underline{24.345} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Resistência à torção (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.5.2.1)

Já que a norma não proporciona uma verificação geral para seções não tubulares submetidas exclusivamente à torção, considera-se que este elemento também deve cumprir o seguinte critério:

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{T_{Sd}}{T_{Rd}} \leq 1$$

$$\square : \underline{0.015} \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se para a combinação de ações 1.25·PP+CP-PesodoelevadoreCapacidadedecarga+1.4·Vento.

T_{Sd} : Momento de torção solicitante de cálculo, desfavorável.

$$T_{Sd} : \underline{0.038} \text{ t}\cdot\text{m}$$

O momento de torção resistente de cálculo, T_{Rd} , é determinado pela expressão:

$$T_{Rd} = \frac{0.60 \cdot W_T \cdot f_y}{\gamma_{a1}}$$

$$T_{Rd} : \underline{2.548} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Onde:

W_T : Módulo de resistência à torção.

$$W_T : \underline{132.81} \text{ cm}^3$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{3516.82} \text{ kgf/cm}^2$$

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

$$\gamma_{a1} : \underline{1.10}$$

Resistência ao momento de torção, força axial, momento fletor e cortante (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.5.2.2)

Este caso não está contemplado pela norma e, portanto, não é possível realizar a verificação.

Resistência a interações de esforços e momento de torção (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.5.2.3)

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{|\sigma_{Sd}|}{\sigma_{Rd}} \leq 1 \quad \square : \underline{0.656} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{|\tau_{Sd}|}{\tau_{Rd}} \leq 1 \quad \square : \underline{0.015} \quad \checkmark$$

(Já que a norma não proporciona uma verificação da tensão total para seções submetidas a torção combinada com outros esforços, considera-se que este elemento também deve cumprir os seguintes critérios para a tensão de Von Mises:)

$$\eta = \frac{f_{Sd}}{f_{Rd}} \leq 1 \quad \square : \underline{0.579} \quad \checkmark$$

O coeficiente de aproveitamento desfavorável produz-se no nó N5, para a combinação de ações 1.25·PP+1.25·CP-PesodoelevadoreCapacidadedecarga+1.4·Vento no ponto da seção transversal de coordenadas X = 162.50 mm, Y = -308.00 mm em relação ao centro de gravidade.

As tensões normais σ_{sd} são dadas por:

$$\sigma_{sd} = \sigma_{N_{sd}} + \sigma_{M_{x, sd}} + \sigma_{M_{y, sd}} \quad \square_{sd} : \underline{-2036.61} \text{ kgf/cm}^2$$

Onde:

$$\sigma_{N_{sd}} = \frac{N_{c, Sd}}{Q \cdot A_g} \quad \square_{N_{sd}} : \underline{-1003.62} \text{ kgf/cm}^2$$

Sendo:

$N_{c, sd}$: Força axial de compressão solicitante de cálculo, desfavorável.

$$N_{c, sd} : \underline{215.865} \text{ t}$$

Q : Fator de redução total associado à flambagem local (ABNT NBR 8800:2008, Anexo F).

$$Q : \underline{0.965}$$

A_g : Área bruta da seção transversal da barra.

$$A_g : \underline{222.80} \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{M_{x, sd}} = -\frac{M_{x, Sd}}{I_x} \cdot Y$$

$$\square_{M_{x, sd}} : \underline{-241.69} \text{ kgf/cm}^2$$

Sendo:

$M_{x, sd}$: Momento fletor solicitante de cálculo, desfavorável.

$$M_{x, sd} : \underline{11.594} \text{ t}\cdot\text{m}$$

I_x : Momento de inércia da seção transversal em relação ao eixo X.

$$I_x : \underline{147754.00} \text{ cm}^4$$

Y : Coordenada, em relação ao eixo Y, do ponto desfavorável da seção transversal em relação ao centro de gravidade da seção bruta.

$$Y : \underline{-308.00} \text{ mm}$$

$$\sigma_{M_{y, sd}} = -\frac{M_{y, Sd}}{I_y} \cdot X$$

$$\square_{M_{y, sd}} : \underline{-791.31} \text{ kgf/cm}^2$$

Sendo:

$M_{y, sd}$: Momento fletor solicitante de cálculo, desfavorável.

$$M_{y, sd}^+ : \underline{6.026} \text{ t}\cdot\text{m}$$

I_y : Momento de inércia da seção transversal em relação ao eixo Y.

$$I_y : \underline{12374.00} \text{ cm}^4$$

X : Coordenada, em relação ao eixo X, do ponto desfavorável da seção transversal em relação ao centro de gravidade da seção bruta.

$$X : \underline{162.50} \text{ mm}$$

As tensões tangenciais τ_{sd} são dadas por:

$$\tau_{sd} = \tau_{V_{x, sd}} + \tau_{V_{y, sd}} + \tau_{T_{sd}} \quad \square_{sd} : \underline{-28.52} \text{ kgf/cm}^2$$

Onde:

$$\tau_{V_{x,Sd}} = -\frac{\bar{S}_y}{I_y \cdot t} \cdot V_{x,Sd}$$

$$\square_{V_{x,Sd}} : \underline{0.00} \text{ kgf/cm}^2$$

Sendo:

$V_{x,Sd}^+$: Esforço cortante solicitante de cálculo, desfavorável.

$$V_{x,Sd}^+ : \underline{4.642} \text{ t}$$

S_y : Momento estático, em relação ao eixo Y, da parte da seção situada a um lado do ponto de verificação.

$$S_y : \underline{0.00} \text{ cm}^3$$

I_y : Momento de inércia da seção transversal em relação ao eixo Y.

$$I_y : \underline{12374.00} \text{ cm}^4$$

t : Espessura.

$$t : \underline{21.60} \text{ mm}$$

$$\tau_{V_{y,Sd}} = -\frac{\bar{S}_x}{I_x \cdot t} \cdot V_{y,Sd}$$

$$\square_{V_{y,Sd}} : \underline{0.00} \text{ kgf/cm}^2$$

Sendo:

$V_{y,Sd}^-$: Esforço cortante solicitante de cálculo, desfavorável.

$$V_{y,Sd}^- : \underline{9.003} \text{ t}$$

S_x : Momento estático, em relação ao eixo X, da parte da seção situada a um lado do ponto de verificação.

$$S_x : \underline{0.00} \text{ cm}^3$$

I_x : Momento de inércia da seção transversal em relação ao eixo X.

$$I_x : \underline{147754.00} \text{ cm}^4$$

t : Espessura.

$$t : \underline{21.60} \text{ mm}$$

$$\tau_{T_{sd}} = \pm \frac{t}{J} \cdot T_{sd}$$

$$\square_{T_{sd}} : \underline{-28.52} \text{ kgf/cm}^2$$

Sendo:

T_{sd} : Momento de torção solicitante de cálculo, desfavorável.

$$T_{sd} : \underline{0.038} \text{ t}\cdot\text{m}$$

J : Constante de torção da seção transversal.

$$J : \underline{286.88} \text{ cm}^4$$

t : Espessura.

$$t : \underline{21.60} \text{ mm}$$

As tensões totais f_{sd} são dadas por:

$$f_{sd} = \sqrt{\sigma_{sd}^2 + 3 \cdot \tau_{sd}^2}$$

$$f_{sd} : \underline{2037.21} \text{ kgf/cm}^2$$

A tensão resistente de cálculo, σ_{Rd} , é dada pelo menor valor entre os obtidos por a) e b):

$$\square_{Rd} : \underline{3106.93} \text{ kgf/cm}^2$$

- (a) Tensão resistente de cálculo para os estados-limites de escoamento sob efeito de tensão normal:

$$\sigma_{Rd} = \frac{f_y}{\gamma_{a1}}$$

$$\square_{Rd} : \underline{3197.11} \text{ kgf/cm}^2$$

Onde:

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{3516.82} \text{ kgf/cm}^2$$

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

$$\gamma_{a1} : \underline{1.10}$$

- (b) Tensão resistente de cálculo para os estados-limites de instabilidade ou flambagem sob efeito de tensão normal:

$$\sigma_{Rd} = \frac{\chi \cdot f_y}{\gamma_{a1}}$$

$$\square_{Rd} : \underline{3106.93} \text{ kgf/cm}^2$$

Onde:

χ : Fator de redução total associado à resistência à compressão (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.3.3).

$$\lambda_0 \leq 1.5 \rightarrow \chi = 0.658^{\lambda_0^2}$$

$$\chi : \underline{0.972}$$

Sendo:

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_e}}$$

$$\square_{\lambda_0} : \underline{0.261}$$

$$\sigma_e = \frac{N_e}{Q \cdot A_g}$$

$$\square_{\sigma_e} : \underline{51448.84} \text{ kgf/cm}^2$$

Onde:

N_e: Força axial de flambagem elástica.
Q: Fator de redução total associado à flambagem local (ABNT NBR 8800:2008, Anexo F).
A_g: Área bruta da seção transversal da barra.

f_y: Resistência ao escoamento do aço.
 γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

A tensão resistente de cálculo, τ_{Rd} , é dada pelo menor valor entre os obtidos por a) e b):

- (a) Tensão resistente de cálculo para os estados-limites de escoamento sob efeito de tensão de cisalhamento:

$$\tau_{Rd} = \frac{0.60 \cdot f_y}{\gamma_{a1}}$$

Onde:

f_y: Resistência ao escoamento do aço.
 γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

- (b) Tensão resistente de cálculo para os estados-limites de instabilidade ou flambagem sob efeito de tensão cisalhamento:

$$\tau_{Rd} = \frac{0.60 \cdot \chi \cdot f_y}{\gamma_{a1}}$$

Onde:

χ : Fator de redução total associado à resistência à compressão (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.3.3).

$$\lambda_0 \leq 1.5 \rightarrow \chi = 0.658^{\lambda_0^2}$$

Sendo:

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{0.60 \cdot f_y}{\tau_e}}$$

$$\tau_e = k_v \cdot \sigma_E$$

$$\sigma_E = \frac{\pi^2 \cdot E}{12 \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \left(\frac{t}{h}\right)^2$$

Onde:

k_v: Coeficiente de flambagem (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.3).

E: Módulo de elasticidade do aço.

ν : Coeficiente de Poisson.

t: Espessura.

h: Largura.

f_y: Resistência ao escoamento do aço.
 γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

A tensão resistente de cálculo, f_{Rd} é dada por:

$$f_{Rd} = \frac{1.1 \cdot f_y}{\gamma_{a1}}$$

Onde:

f_y: Resistência ao escoamento do aço.
 γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

$$N_e : \underline{11065.940} \text{ t}$$

$$Q : \underline{0.965}$$

$$A_g : \underline{222.80} \text{ cm}^2$$

$$f_y : \underline{3516.82} \text{ kgf/cm}^2$$

$$\gamma_{a1} : \underline{1.10}$$

$$\tau_{Rd} : \underline{1907.89} \text{ kgf/cm}^2$$

$$\tau_{Rd} : \underline{1918.27} \text{ kgf/cm}^2$$

$$f_y : \underline{3516.82} \text{ kgf/cm}^2$$

$$\gamma_{a1} : \underline{1.10}$$

$$\tau_{Rd} : \underline{1907.89} \text{ kgf/cm}^2$$

$$\chi : \underline{0.995}$$

$$\lambda_0 : \underline{0.114}$$

$$\tau_e : \underline{162782.93} \text{ kgf/cm}^2$$

$$\sigma_E : \underline{32556.59} \text{ kgf/cm}^2$$

$$k_v : \underline{5.00}$$

$$E : \underline{2038736} \text{ kgf/cm}^2$$

$$\nu : \underline{0.30}$$

$$t : \underline{21.60} \text{ mm}$$

$$h : \underline{162.50} \text{ mm}$$

$$f_y : \underline{3516.82} \text{ kgf/cm}^2$$

$$\gamma_{a1} : \underline{1.10}$$

$$f_{Rd} : \underline{3516.82} \text{ kgf/cm}^2$$

$$f_y : \underline{3516.82} \text{ kgf/cm}^2$$

$$\gamma_{a1} : \underline{1.10}$$

ANEXO 2

ÍNDICE

1.- DADOS DE OBRA.....	2
1.1.- Normas consideradas.....	2
1.2.- Estados limites.....	2
1.2.1.- Situações de projeto.....	2
2.- ESTRUTURA.....	3
2.1.- Geometria.....	3
2.1.1.- Nós.....	3
2.1.2.- Barras.....	5



Relatórios

Trabalho de Conclusão de Curso

Data: 17/09/24

1.- DADOS DE OBRA

1.1.- Normas consideradas

Aços laminados e soldados: ABNT NBR 8800:2008

1.2.- Estados limites

E.L.U. Aço laminado	Cópia de Aço laminado - NBR 8800: 2008
Deslocamentos	Ações características

1.2.1.- Situações de projeto

Para as distintas situações de projeto, as combinações de ações serão definidas de acordo com os seguintes critérios:

- Com coeficientes de combinação

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj} G_{kj} + \gamma_P P_k + \gamma_{Q1} \Psi_{p1} Q_{k1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Qi} \Psi_{ai} Q_{ki}$$

- Sem coeficientes de combinação

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj} G_{kj} + \gamma_P P_k + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Qi} Q_{ki}$$

- Onde:

G_k Ação permanente

P_k Ação de pré-esforço

Q_k Ação variável

γ_G Coeficiente parcial de segurança das ações permanentes

γ_P Coeficiente parcial de segurança da ação de pré-esforço

γ_{Q1} Coeficiente parcial de segurança da ação variável principal

γ_{Qi} Coeficiente parcial de segurança das ações variáveis de acompanhamento

Ψ_{p1} Coeficiente de combinação da ação variável principal

Ψ_{ai} Coeficiente de combinação das ações variáveis de acompanhamento

Para cada situação de projeto e estado limite, os coeficientes a utilizar serão:

E.L.U. Aço laminado: ABNT NBR 8800:2008

	Cópia de Normal			
	Coeficientes parciais de segurança (γ)		Coeficientes de combinação (ψ)	
	Favorável	Desfavorável	Principal (ψ_1)	Acompanhamento (ψ_i)
Permanente (G)	1.000	1.250	-	-
Vento (Q)	0.000	1.400	1.000	0.600

Deslocamentos



Relatórios

Trabalho de Conclusão de Curso

Data: 17/09/24

Ações variáveis sem sismo		
	Coeficientes parciais de segurança (γ)	
	Favorável	Desfavorável
Permanente (G)	1.000	1.000
Vento (Q)	0.000	1.000

2.- ESTRUTURA

2.1.- Geometria

2.1.1.- Nós

Referências:

 $\Delta_x, \Delta_y, \Delta_z$: Deslocamentos prescritos em eixos globais. $\theta_x, \theta_y, \theta_z$: Rotações prescritas em eixos globais.Cada grau de liberdade marca-se com 'X' se estiver restringido e, caso contrário, com '-'.

Referência	Nós									Vinculação interna
	Coordenadas			Vínculo c/ exterior						
	X (m)	Y (m)	Z (m)	Δ_x	Δ_y	Δ_z	θ_x	θ_y	θ_z	
N1	0.000	0.000	0.000	X	X	X	X	X	X	Engastado
N2	0.000	0.000	95.000	-	-	-	-	-	-	Engastado
N3	0.000	3.000	0.000	X	X	X	X	X	X	Engastado
N4	0.000	3.000	95.000	-	-	-	-	-	-	Engastado
N5	2.000	0.000	0.000	X	X	X	X	X	X	Engastado
N6	2.000	0.000	95.000	-	-	-	-	-	-	Engastado
N7	2.000	3.000	0.000	X	X	X	X	X	X	Engastado
N8	2.000	3.000	95.000	-	-	-	-	-	-	Engastado
N9	0.000	0.000	1.500	-	-	-	-	-	-	Engastado
N10	0.000	3.000	1.500	-	-	-	-	-	-	Engastado
N11	2.000	3.000	1.500	-	-	-	-	-	-	Engastado
N12	2.000	0.000	1.500	-	-	-	-	-	-	Engastado
N13	0.000	0.000	7.500	-	-	-	-	-	-	Engastado
N14	0.000	3.000	7.500	-	-	-	-	-	-	Engastado
N15	2.000	3.000	7.500	-	-	-	-	-	-	Engastado
N16	2.000	0.000	7.500	-	-	-	-	-	-	Engastado
N17	0.000	0.000	13.500	-	-	-	-	-	-	Engastado
N18	0.000	3.000	13.500	-	-	-	-	-	-	Engastado
N19	2.000	3.000	13.500	-	-	-	-	-	-	Engastado
N20	2.000	0.000	13.500	-	-	-	-	-	-	Engastado
N21	0.000	0.000	19.500	-	-	-	-	-	-	Engastado
N22	0.000	3.000	19.500	-	-	-	-	-	-	Engastado
N23	2.000	3.000	19.500	-	-	-	-	-	-	Engastado
N24	2.000	0.000	19.500	-	-	-	-	-	-	Engastado
N25	0.000	0.000	25.500	-	-	-	-	-	-	Engastado
N26	0.000	3.000	25.500	-	-	-	-	-	-	Engastado
N27	2.000	3.000	25.500	-	-	-	-	-	-	Engastado
N28	2.000	0.000	25.500	-	-	-	-	-	-	Engastado



Relatórios

Trabalho de Conclusão de Curso

Data: 17/09/24

Referência	Nós									Vinculação interna
	Coordenadas			Vínculo c/ exterior						
	X (m)	Y (m)	Z (m)	Δ_x	Δ_y	Δ_z	θ_x	θ_y	θ_z	
N29	0.000	0.000	31.500	-	-	-	-	-	-	Engastado
N30	0.000	3.000	31.500	-	-	-	-	-	-	Engastado
N31	2.000	3.000	31.500	-	-	-	-	-	-	Engastado
N32	2.000	0.000	31.500	-	-	-	-	-	-	Engastado
N33	0.000	0.000	37.500	-	-	-	-	-	-	Engastado
N34	0.000	3.000	37.500	-	-	-	-	-	-	Engastado
N35	2.000	3.000	37.500	-	-	-	-	-	-	Engastado
N36	2.000	0.000	37.500	-	-	-	-	-	-	Engastado
N37	0.000	0.000	43.500	-	-	-	-	-	-	Engastado
N38	0.000	3.000	43.500	-	-	-	-	-	-	Engastado
N39	2.000	3.000	43.500	-	-	-	-	-	-	Engastado
N40	2.000	0.000	43.500	-	-	-	-	-	-	Engastado
N41	0.000	0.000	49.500	-	-	-	-	-	-	Engastado
N42	0.000	3.000	49.500	-	-	-	-	-	-	Engastado
N43	2.000	3.000	49.500	-	-	-	-	-	-	Engastado
N44	2.000	0.000	49.500	-	-	-	-	-	-	Engastado
N45	0.000	0.000	55.500	-	-	-	-	-	-	Engastado
N46	0.000	3.000	55.500	-	-	-	-	-	-	Engastado
N47	2.000	3.000	55.500	-	-	-	-	-	-	Engastado
N48	2.000	0.000	55.500	-	-	-	-	-	-	Engastado
N49	0.000	0.000	61.500	-	-	-	-	-	-	Engastado
N50	0.000	3.000	61.500	-	-	-	-	-	-	Engastado
N51	2.000	3.000	61.500	-	-	-	-	-	-	Engastado
N52	2.000	0.000	61.500	-	-	-	-	-	-	Engastado
N53	0.000	0.000	67.500	-	-	-	-	-	-	Engastado
N54	0.000	3.000	67.500	-	-	-	-	-	-	Engastado
N55	2.000	3.000	67.500	-	-	-	-	-	-	Engastado
N56	2.000	0.000	67.500	-	-	-	-	-	-	Engastado
N57	0.000	0.000	73.500	-	-	-	-	-	-	Engastado
N58	0.000	3.000	73.500	-	-	-	-	-	-	Engastado
N59	2.000	3.000	73.500	-	-	-	-	-	-	Engastado
N60	2.000	0.000	73.500	-	-	-	-	-	-	Engastado
N61	0.000	0.000	79.500	-	-	-	-	-	-	Engastado
N62	0.000	3.000	79.500	-	-	-	-	-	-	Engastado
N63	2.000	3.000	79.500	-	-	-	-	-	-	Engastado
N64	2.000	0.000	79.500	-	-	-	-	-	-	Engastado
N65	0.000	0.000	85.500	-	-	-	-	-	-	Engastado
N66	0.000	3.000	85.500	-	-	-	-	-	-	Engastado
N67	2.000	3.000	85.500	-	-	-	-	-	-	Engastado
N68	2.000	0.000	85.500	-	-	-	-	-	-	Engastado
N69	0.000	0.000	91.500	-	-	-	-	-	-	Engastado
N70	0.000	3.000	91.500	-	-	-	-	-	-	Engastado
N71	2.000	3.000	91.500	-	-	-	-	-	-	Engastado
N72	2.000	0.000	91.500	-	-	-	-	-	-	Engastado



Relatórios

Trabalho de Conclusão de Curso

Data: 17/09/24

2.1.2.- Barras

2.1.2.1.- Materiais utilizados

Materiais utilizados							
Material		E	ν	G	f_y	α_t	γ
Tipo	Designação	(kgf/cm ²)		(kgf/cm ²)	(kgf/cm ²)	(m/m°C)	(t/m ³)
Aço laminado	A-572 345MPa	2038736.0	0.300	784913.4	3516.8	0.000012	7.850
Notação: <i>E</i> : Módulo de elasticidade ν : Módulo de poisson <i>G</i> : Módulo de corte <i>f_y</i> : Limite elástico α_t : Coeficiente de dilatação γ : Peso específico							

2.1.2.2.- Descrição

Descrição									
Material		Barra	Peça	Perfil(Série)	Comprimento (m)	β_{xy}	β_{xz}	Lb _{sup.} (m)	Lb _{inf.} (m)
Tipo	Designação	(Ni/Nf)	(Ni/Nf)						
Aço laminado	A-572 345MPa	N1/N9	N1/N2	W 610 x 174 (I)	1.500	1.00	1.00	-	-
		N9/N13	N1/N2	W 610 x 174 (I)	6.000	1.00	1.00	-	-
		N13/N17	N1/N2	W 610 x 174 (I)	6.000	1.00	1.00	-	-
		N17/N21	N1/N2	W 610 x 174 (I)	6.000	1.00	1.00	-	-
		N21/N25	N1/N2	W 610 x 174 (I)	6.000	1.00	1.00	-	-
		N25/N29	N1/N2	W 610 x 174 (I)	6.000	1.00	1.00	-	-
		N29/N33	N1/N2	W 610 x 174 (I)	6.000	1.00	1.00	-	-
		N33/N37	N1/N2	W 610 x 174 (I)	6.000	1.00	1.00	-	-
		N37/N41	N1/N2	W 610 x 174 (I)	6.000	1.00	1.00	-	-
		N41/N45	N1/N2	W 610 x 174 (I)	6.000	1.00	1.00	-	-
		N45/N49	N1/N2	W 610 x 174 (I)	6.000	1.00	1.00	-	-
		N49/N53	N1/N2	W 610 x 174 (I)	6.000	1.00	1.00	-	-
		N53/N57	N1/N2	W 610 x 174 (I)	6.000	1.00	1.00	-	-
		N57/N61	N1/N2	W 610 x 174 (I)	6.000	1.00	1.00	-	-
		N61/N65	N1/N2	W 610 x 174 (I)	6.000	1.00	1.00	-	-
N65/N69	N1/N2	W 610 x 174 (I)	6.000	1.00	1.00	-	-		
		N69/N2	N1/N2	W 610 x 174 (I)	3.500	1.71	1.00	-	-



Relatórios

Trabalho de Conclusão de Curso

Data: 17/09/24

Material		Descrição							
Tipo	Designação	Barra (Ni/Nf)	Peça (Ni/Nf)	Perfil(Série)	Comprimento (m)	β_{xy}	β_{xz}	Lb _{sup.} (m)	Lb _{inf.} (m)
		N3/N10	N3/N4	W 610 x 174 (I)	1.500	1.00	1.00	-	-
		N10/N14	N3/N4	W 610 x 174 (I)	6.000	1.00	1.00	-	-
		N14/N18	N3/N4	W 610 x 174 (I)	6.000	1.00	1.00	-	-
		N18/N22	N3/N4	W 610 x 174 (I)	6.000	1.00	1.00	-	-
		N22/N26	N3/N4	W 610 x 174 (I)	6.000	1.00	1.00	-	-
		N26/N30	N3/N4	W 610 x 174 (I)	6.000	1.00	1.00	-	-
		N30/N34	N3/N4	W 610 x 174 (I)	6.000	1.00	1.00	-	-
		N34/N38	N3/N4	W 610 x 174 (I)	6.000	1.00	1.00	-	-
		N38/N42	N3/N4	W 610 x 174 (I)	6.000	1.00	1.00	-	-
		N42/N46	N3/N4	W 610 x 174 (I)	6.000	1.00	1.00	-	-
		N46/N50	N3/N4	W 610 x 174 (I)	6.000	1.00	1.00	-	-
		N50/N54	N3/N4	W 610 x 174 (I)	6.000	1.00	1.00	-	-
		N54/N58	N3/N4	W 610 x 174 (I)	6.000	1.00	1.00	-	-
		N58/N62	N3/N4	W 610 x 174 (I)	6.000	1.00	1.00	-	-
		N62/N66	N3/N4	W 610 x 174 (I)	6.000	1.00	1.00	-	-
		N66/N70	N3/N4	W 610 x 174 (I)	6.000	1.00	1.00	-	-
		N70/N4	N3/N4	W 610 x 174 (I)	3.500	1.71	1.00	-	-
		N5/N12	N5/N6	W 610 x 174 (I)	1.500	1.00	1.00	-	-
		N12/N16	N5/N6	W 610 x 174 (I)	6.000	1.00	1.00	-	-
		N16/N20	N5/N6	W 610 x 174 (I)	6.000	1.00	1.00	-	-
		N20/N24	N5/N6	W 610 x 174 (I)	6.000	1.00	1.00	-	-
		N24/N28	N5/N6	W 610 x 174 (I)	6.000	1.00	1.00	-	-
		N28/N32	N5/N6	W 610 x 174 (I)	6.000	1.00	1.00	-	-
		N32/N36	N5/N6	W 610 x 174 (I)	6.000	1.00	1.00	-	-
		N36/N40	N5/N6	W 610 x 174 (I)	6.000	1.00	1.00	-	-



Relatórios

Trabalho de Conclusão de Curso

Data: 17/09/24

Material		Descrição							
Tipo	Designação	Barra (Ni/Nf)	Peça (Ni/Nf)	Perfil(Série)	Comprimento (m)	β_{xy}	β_{xz}	Lb _{sup.} (m)	Lb _{inf.} (m)
		N40/N44	N5/N6	W 610 x 174 (I)	6.000	1.00	1.00	-	-
		N44/N48	N5/N6	W 610 x 174 (I)	6.000	1.00	1.00	-	-
		N48/N52	N5/N6	W 610 x 174 (I)	6.000	1.00	1.00	-	-
		N52/N56	N5/N6	W 610 x 174 (I)	6.000	1.00	1.00	-	-
		N56/N60	N5/N6	W 610 x 174 (I)	6.000	1.00	1.00	-	-
		N60/N64	N5/N6	W 610 x 174 (I)	6.000	1.00	1.00	-	-
		N64/N68	N5/N6	W 610 x 174 (I)	6.000	1.00	1.00	-	-
		N68/N72	N5/N6	W 610 x 174 (I)	6.000	1.00	1.00	-	-
		N72/N6	N5/N6	W 610 x 174 (I)	3.500	1.71	1.00	-	-
		N7/N11	N7/N8	W 610 x 174 (I)	1.500	1.00	1.00	-	-
		N11/N15	N7/N8	W 610 x 174 (I)	6.000	1.00	1.00	-	-
		N15/N19	N7/N8	W 610 x 174 (I)	6.000	1.00	1.00	-	-
		N19/N23	N7/N8	W 610 x 174 (I)	6.000	1.00	1.00	-	-
		N23/N27	N7/N8	W 610 x 174 (I)	6.000	1.00	1.00	-	-
		N27/N31	N7/N8	W 610 x 174 (I)	6.000	1.00	1.00	-	-
		N31/N35	N7/N8	W 610 x 174 (I)	6.000	1.00	1.00	-	-
		N35/N39	N7/N8	W 610 x 174 (I)	6.000	1.00	1.00	-	-
		N39/N43	N7/N8	W 610 x 174 (I)	6.000	1.00	1.00	-	-
		N43/N47	N7/N8	W 610 x 174 (I)	6.000	1.00	1.00	-	-
		N47/N51	N7/N8	W 610 x 174 (I)	6.000	1.00	1.00	-	-
		N51/N55	N7/N8	W 610 x 174 (I)	6.000	1.00	1.00	-	-
		N55/N59	N7/N8	W 610 x 174 (I)	6.000	1.00	1.00	-	-
		N59/N63	N7/N8	W 610 x 174 (I)	6.000	1.00	1.00	-	-
		N63/N67	N7/N8	W 610 x 174 (I)	6.000	1.00	1.00	-	-
		N67/N71	N7/N8	W 610 x 174 (I)	6.000	1.00	1.00	-	-



Relatórios

Trabalho de Conclusão de Curso

Data: 17/09/24

Material		Descrição							
Tipo	Designação	Barra (Ni/Nf)	Peça (Ni/Nf)	Perfil(Série)	Comprimento (m)	β_{xy}	β_{xz}	Lb _{sup.} (m)	Lb _{inf.} (m)
		N71/N8	N7/N8	W 610 x 174 (I)	3.500	1.71	1.00	-	-
		N1/N3	N1/N3	W 150 x 13 (I)	3.000	1.00	1.00	-	-
		N3/N7	N3/N7	W 150 x 13 (I)	2.000	1.00	1.00	-	-
		N5/N7	N5/N7	W 150 x 13 (I)	3.000	1.00	1.00	-	-
		N1/N5	N1/N5	W 150 x 13 (I)	2.000	1.00	1.00	-	-
		N9/N10	N9/N10	W 200 x 31.3 (I)	3.000	1.00	1.00	-	-
		N10/N11	N10/N11	W 200 x 26.6 (I)	2.000	1.00	1.00	-	-
		N12/N11	N12/N11	W 150 x 24.0 (I)	3.000	1.00	1.00	-	-
		N9/N12	N9/N12	W 200 x 31.3 (I)	2.000	1.00	1.00	-	-
		N13/N14	N13/N14	W 310 x 44.5 (I)	3.000	1.00	1.00	-	-
		N14/N15	N14/N15	W 310 x 44.5 (I)	2.000	1.00	1.00	-	-
		N16/N15	N16/N15	W 200 x 31.3 (I)	3.000	1.00	1.00	-	-
		N13/N16	N13/N16	W 200 x 26.6 (I)	2.000	1.00	1.00	-	-
		N17/N18	N17/N18	W 200 x 26.6 (I)	3.000	1.00	1.00	-	-
		N18/N19	N18/N19	W 150 x 18 (I)	2.000	1.00	1.00	-	-
		N20/N19	N20/N19	W 200 x 22.5 (I)	3.000	1.00	1.00	-	-
		N17/N20	N17/N20	W 150 x 24.0 (I)	2.000	1.00	1.00	-	-
		N21/N22	N21/N22	W 150 x 24.0 (I)	3.000	1.00	1.00	-	-
		N22/N23	N22/N23	W 150 x 13 (I)	2.000	1.00	1.00	-	-
		N24/N23	N24/N23	W 150 x 18 (I)	3.000	1.00	1.00	-	-
		N21/N24	N21/N24	W 150 x 13 (I)	2.000	1.00	1.00	-	-
		N25/N26	N25/N26	W 150 x 18 (I)	3.000	1.00	1.00	-	-
		N26/N27	N26/N27	W 150 x 13 (I)	2.000	1.00	1.00	-	-
		N28/N27	N28/N27	W 150 x 13 (I)	3.000	1.00	1.00	-	-
		N25/N28	N25/N28	W 150 x 13 (I)	2.000	1.00	1.00	-	-
		N29/N30	N29/N30	W 150 x 18 (I)	3.000	1.00	1.00	-	-
		N30/N31	N30/N31	W 150 x 13 (I)	2.000	1.00	1.00	-	-
		N32/N31	N32/N31	W 150 x 13 (I)	3.000	1.00	1.00	-	-
		N29/N32	N29/N32	W 150 x 13 (I)	2.000	1.00	1.00	-	-
		N33/N34	N33/N34	W 150 x 18 (I)	3.000	1.00	1.00	-	-
		N34/N35	N34/N35	W 150 x 13 (I)	2.000	1.00	1.00	-	-
		N36/N35	N36/N35	W 150 x 13 (I)	3.000	1.00	1.00	-	-
		N33/N36	N33/N36	W 150 x 13 (I)	2.000	1.00	1.00	-	-
		N37/N38	N37/N38	W 150 x 13 (I)	3.000	1.00	1.00	-	-
		N38/N39	N38/N39	W 150 x 13 (I)	2.000	1.00	1.00	-	-



Relatórios

Trabalho de Conclusão de Curso

Data: 17/09/24

Material		Descrição							
Tipo	Designação	Barra (Ni/Nf)	Peça (Ni/Nf)	Perfil(Série)	Comprimento (m)	β_{xy}	β_{xz}	Lb _{sup.} (m)	Lb _{inf.} (m)
		N40/N39	N40/N39	W 150 x 13 (I)	3.000	1.00	1.00	-	-
		N37/N40	N37/N40	W 150 x 13 (I)	2.000	1.00	1.00	-	-
		N41/N42	N41/N42	W 150 x 13 (I)	3.000	1.00	1.00	-	-
		N42/N43	N42/N43	W 150 x 13 (I)	2.000	1.00	1.00	-	-
		N44/N43	N44/N43	W 150 x 13 (I)	3.000	1.00	1.00	-	-
		N41/N44	N41/N44	W 150 x 13 (I)	2.000	1.00	1.00	-	-
		N45/N46	N45/N46	W 150 x 13 (I)	3.000	1.00	1.00	-	-
		N46/N47	N46/N47	W 150 x 13 (I)	2.000	1.00	1.00	-	-
		N48/N47	N48/N47	W 150 x 13 (I)	3.000	1.00	1.00	-	-
		N45/N48	N45/N48	W 150 x 13 (I)	2.000	1.00	1.00	-	-
		N49/N50	N49/N50	W 150 x 13 (I)	3.000	1.00	1.00	-	-
		N50/N51	N50/N51	W 150 x 13 (I)	2.000	1.00	1.00	-	-
		N52/N51	N52/N51	W 150 x 13 (I)	3.000	1.00	1.00	-	-
		N49/N52	N49/N52	W 150 x 13 (I)	2.000	1.00	1.00	-	-
		N53/N54	N53/N54	W 150 x 13 (I)	3.000	1.00	1.00	-	-
		N54/N55	N54/N55	W 150 x 13 (I)	2.000	1.00	1.00	-	-
		N56/N55	N56/N55	W 150 x 13 (I)	3.000	1.00	1.00	-	-
		N53/N56	N53/N56	W 150 x 13 (I)	2.000	1.00	1.00	-	-
		N57/N58	N57/N58	W 150 x 13 (I)	3.000	1.00	1.00	-	-
		N58/N59	N58/N59	W 150 x 13 (I)	2.000	1.00	1.00	-	-
		N60/N59	N60/N59	W 150 x 13 (I)	3.000	1.00	1.00	-	-
		N57/N60	N57/N60	W 150 x 13 (I)	2.000	1.00	1.00	-	-
		N61/N62	N61/N62	W 150 x 13 (I)	3.000	1.00	1.00	-	-
		N62/N63	N62/N63	W 150 x 13 (I)	2.000	1.00	1.00	-	-
		N64/N63	N64/N63	W 150 x 13 (I)	3.000	1.00	1.00	-	-
		N61/N64	N61/N64	W 150 x 13 (I)	2.000	1.00	1.00	-	-
		N65/N66	N65/N66	W 150 x 13 (I)	3.000	1.00	1.00	-	-
		N66/N67	N66/N67	W 150 x 13 (I)	2.000	1.00	1.00	-	-
		N68/N67	N68/N67	W 150 x 13 (I)	3.000	1.00	1.00	-	-
		N65/N68	N65/N68	W 150 x 13 (I)	2.000	1.00	1.00	-	-
		N69/N70	N69/N70	W 150 x 13 (I)	3.000	1.00	1.00	-	-
		N70/N71	N70/N71	W 150 x 13 (I)	2.000	1.00	1.00	-	-
		N72/N71	N72/N71	W 150 x 13 (I)	3.000	1.00	1.00	-	-
		N69/N72	N69/N72	W 150 x 13 (I)	2.000	1.00	1.00	-	-
		N2/N4	N2/N4	W 150 x 13 (I)	3.000	1.00	1.00	-	-
		N4/N8	N4/N8	W 150 x 13 (I)	2.000	1.00	1.00	-	-
		N6/N8	N6/N8	W 150 x 13 (I)	3.000	1.00	1.00	-	-
		N2/N6	N2/N6	W 150 x 13 (I)	2.000	1.00	1.00	-	-
		N71/N6	N71/N6	L 300 x 300 x 25 (L)	4.610	1.00	1.00	-	-
		N72/N8	N72/N8	L 300 x 300 x 25 (L)	4.610	1.00	1.00	-	-
		N70/N8	N70/N8	L 300 x 300 x 25 (L)	4.031	1.00	1.00	-	-
		N71/N4	N71/N4	L 300 x 300 x 25 (L)	4.031	1.00	1.00	-	-



Relatórios

Trabalho de Conclusão de Curso

Data: 17/09/24

Material		Descrição							
Tipo	Designação	Barra (Ni/Nf)	Peça (Ni/Nf)	Perfil(Série)	Comprimento (m)	β_{xy}	β_{xz}	Lb _{sup.} (m)	Lb _{inf.} (m)
		N70/N2	N70/N2	L 300 x 300 x 25 (L)	4.610	1.00	1.00	-	-
		N69/N4	N69/N4	L 300 x 300 x 25 (L)	4.610	1.00	1.00	-	-
		N69/N6	N69/N6	L 300 x 300 x 25 (L)	4.031	1.00	1.00	-	-
		N72/N2	N72/N2	L 300 x 300 x 25 (L)	4.031	1.00	1.00	-	-
		N65/N70	N65/N70	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	1.00	1.00	-	-
		N66/N69	N66/N69	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	1.00	1.00	-	-
		N68/N69	N68/N69	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	1.00	1.00	-	-
		N65/N72	N65/N72	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	1.00	1.00	-	-
		N67/N72	N67/N72	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	1.00	1.00	-	-
		N68/N71	N68/N71	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	1.00	1.00	-	-
		N61/N68	N61/N68	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	1.00	1.00	-	-
		N64/N65	N64/N65	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	1.00	1.00	-	-
		N64/N67	N64/N67	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	1.00	1.00	-	-
		N63/N68	N63/N68	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	1.00	1.00	-	-
		N61/N66	N61/N66	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	1.00	1.00	-	-
		N62/N65	N62/N65	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	1.00	1.00	-	-
		N63/N66	N63/N66	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	1.00	1.00	-	-
		N62/N67	N62/N67	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	1.00	1.00	-	-
		N57/N64	N57/N64	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	1.00	1.00	-	-
		N60/N61	N60/N61	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	1.00	1.00	-	-
		N60/N63	N60/N63	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	1.00	1.00	-	-
		N59/N64	N59/N64	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	1.00	1.00	-	-
		N57/N62	N57/N62	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	1.00	1.00	-	-
		N58/N61	N58/N61	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	1.00	1.00	-	-
		N59/N62	N59/N62	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	1.00	1.00	-	-



Relatórios

Trabalho de Conclusão de Curso

Data: 17/09/24

Material		Descrição							
Tipo	Designação	Barra (Ni/Nf)	Peça (Ni/Nf)	Perfil(Série)	Comprimento (m)	β_{xy}	β_{xz}	Lb _{sup.} (m)	Lb _{inf.} (m)
		N58/N63	N58/N63	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	1.00	1.00	-	-
		N53/N60	N53/N60	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	1.00	1.00	-	-
		N56/N57	N56/N57	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	1.00	1.00	-	-
		N56/N59	N56/N59	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	1.00	1.00	-	-
		N55/N60	N55/N60	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	1.00	1.00	-	-
		N53/N58	N53/N58	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	1.00	1.00	-	-
		N54/N57	N54/N57	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	1.00	1.00	-	-
		N55/N58	N55/N58	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	1.00	1.00	-	-
		N54/N59	N54/N59	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	1.00	1.00	-	-
		N49/N56	N49/N56	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	1.00	1.00	-	-
		N52/N53	N52/N53	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	1.00	1.00	-	-
		N52/N55	N52/N55	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	1.00	1.00	-	-
		N51/N56	N51/N56	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	1.00	1.00	-	-
		N49/N54	N49/N54	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	1.00	1.00	-	-
		N50/N53	N50/N53	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	1.00	1.00	-	-
		N51/N54	N51/N54	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	1.00	1.00	-	-
		N50/N55	N50/N55	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	1.00	1.00	-	-
		N45/N52	N45/N52	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	1.00	1.00	-	-
		N48/N49	N48/N49	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	1.00	1.00	-	-
		N48/N51	N48/N51	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	1.00	1.00	-	-
		N47/N52	N47/N52	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	1.00	1.00	-	-
		N45/N50	N45/N50	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	1.00	1.00	-	-
		N46/N49	N46/N49	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	1.00	1.00	-	-
		N47/N50	N47/N50	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	1.00	1.00	-	-
		N46/N51	N46/N51	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	1.00	1.00	-	-



Relatórios

Trabalho de Conclusão de Curso

Data: 17/09/24

Material		Descrição							
Tipo	Designação	Barra (Ni/Nf)	Peça (Ni/Nf)	Perfil(Série)	Comprimento (m)	β_{xy}	β_{xz}	Lb _{sup.} (m)	Lb _{inf.} (m)
		N41/N48	N41/N48	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	1.00	1.00	-	-
		N44/N45	N44/N45	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	1.00	1.00	-	-
		N44/N47	N44/N47	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	1.00	1.00	-	-
		N43/N48	N43/N48	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	1.00	1.00	-	-
		N41/N46	N41/N46	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	1.00	1.00	-	-
		N42/N45	N42/N45	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	1.00	1.00	-	-
		N43/N46	N43/N46	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	1.00	1.00	-	-
		N42/N47	N42/N47	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	1.00	1.00	-	-
		N37/N44	N37/N44	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	1.00	1.00	-	-
		N40/N41	N40/N41	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	1.00	1.00	-	-
		N40/N43	N40/N43	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	1.00	1.00	-	-
		N39/N44	N39/N44	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	1.00	1.00	-	-
		N37/N42	N37/N42	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	1.00	1.00	-	-
		N38/N41	N38/N41	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	1.00	1.00	-	-
		N39/N42	N39/N42	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	1.00	1.00	-	-
		N38/N43	N38/N43	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	1.00	1.00	-	-
		N33/N40	N33/N40	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	1.00	1.00	-	-
		N36/N37	N36/N37	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	1.00	1.00	-	-
		N36/N39	N36/N39	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	1.00	1.00	-	-
		N35/N40	N35/N40	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	1.00	1.00	-	-
		N33/N38	N33/N38	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	1.00	1.00	-	-
		N34/N37	N34/N37	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	1.00	1.00	-	-
		N35/N38	N35/N38	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	1.00	1.00	-	-
		N34/N39	N34/N39	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	1.00	1.00	-	-
		N29/N36	N29/N36	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	1.00	1.00	-	-



Relatórios

Trabalho de Conclusão de Curso

Data: 17/09/24

Material		Descrição							
Tipo	Designação	Barra (Ni/Nf)	Peça (Ni/Nf)	Perfil(Série)	Comprimento (m)	β_{xy}	β_{xz}	Lb _{sup.} (m)	Lb _{inf.} (m)
		N32/N33	N32/N33	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	1.00	1.00	-	-
		N32/N35	N32/N35	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	1.00	1.00	-	-
		N31/N36	N31/N36	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	1.00	1.00	-	-
		N29/N34	N29/N34	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	1.00	1.00	-	-
		N30/N33	N30/N33	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	1.00	1.00	-	-
		N31/N34	N31/N34	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	1.00	1.00	-	-
		N30/N35	N30/N35	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	1.00	1.00	-	-
		N25/N32	N25/N32	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	1.00	1.00	-	-
		N28/N29	N28/N29	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	1.00	1.00	-	-
		N28/N31	N28/N31	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	1.00	1.00	-	-
		N27/N32	N27/N32	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	1.00	1.00	-	-
		N25/N30	N25/N30	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	1.00	1.00	-	-
		N26/N29	N26/N29	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	1.00	1.00	-	-
		N27/N30	N27/N30	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	1.00	1.00	-	-
		N26/N31	N26/N31	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	1.00	1.00	-	-
		N21/N28	N21/N28	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	1.00	1.00	-	-
		N24/N25	N24/N25	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	1.00	1.00	-	-
		N24/N27	N24/N27	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	1.00	1.00	-	-
		N23/N28	N23/N28	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	1.00	1.00	-	-
		N21/N26	N21/N26	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	1.00	1.00	-	-
		N22/N25	N22/N25	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	1.00	1.00	-	-
		N23/N26	N23/N26	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	1.00	1.00	-	-
		N22/N27	N22/N27	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	1.00	1.00	-	-
		N17/N24	N17/N24	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	1.00	1.00	-	-
		N20/N21	N20/N21	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	1.00	1.00	-	-



Relatórios

Trabalho de Conclusão de Curso

Data: 17/09/24

Material		Descrição			Comprimento (m)	β_{xy}	β_{xz}	Lb _{sup.} (m)	Lb _{inf.} (m)
Tipo	Designação	Barra (Ni/Nf)	Peça (Ni/Nf)	Perfil(Série)					
		N20/N23	N20/N23	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	1.00	1.00	-	-
		N19/N24	N19/N24	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	1.00	1.00	-	-
		N17/N22	N17/N22	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	1.00	1.00	-	-
		N18/N21	N18/N21	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	1.00	1.00	-	-
		N19/N22	N19/N22	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	1.00	1.00	-	-
		N18/N23	N18/N23	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	1.00	1.00	-	-
		N13/N20	N13/N20	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	1.00	1.00	-	-
		N16/N17	N16/N17	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	1.00	1.00	-	-
		N16/N19	N16/N19	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	1.00	1.00	-	-
		N15/N20	N15/N20	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	1.00	1.00	-	-
		N13/N18	N13/N18	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	1.00	1.00	-	-
		N14/N17	N14/N17	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	1.00	1.00	-	-
		N15/N18	N15/N18	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	1.00	1.00	-	-
		N14/N19	N14/N19	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	1.00	1.00	-	-
		N9/N16	N9/N16	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	1.00	1.00	-	-
		N12/N13	N12/N13	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	1.00	1.00	-	-
		N12/N15	N12/N15	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	1.00	1.00	-	-
		N11/N16	N11/N16	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	1.00	1.00	-	-
		N9/N14	N9/N14	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	1.00	1.00	-	-
		N10/N13	N10/N13	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	1.00	1.00	-	-

Notação:
 Ni: Nó inicial
 Nf: Nó final
 β_{xy} : Coeficiente de flambagem no plano 'XY'
 β_{xz} : Coeficiente de flambagem no plano 'XZ'
 Lb_{sup.}: Espaçamento entre travamentos do banzo superior
 Lb_{inf.}: Espaçamento entre travamentos do banzo inferior

2.1.2.3.- Características mecânicas



Relatórios

Trabalho de Conclusão de Curso

Data: 17/09/24

Tipos de peça	
Ref.	Peças
1	N1/N2, N3/N4, N5/N6 e N7/N8
2	N1/N3, N3/N7, N5/N7, N1/N5, N22/N23, N21/N24, N26/N27, N28/N27, N25/N28, N30/N31, N32/N31, N29/N32, N34/N35, N36/N35, N33/N36, N37/N38, N38/N39, N40/N39, N37/N40, N41/N42, N42/N43, N44/N43, N41/N44, N45/N46, N46/N47, N48/N47, N45/N48, N49/N50, N50/N51, N52/N51, N49/N52, N53/N54, N54/N55, N56/N55, N53/N56, N57/N58, N58/N59, N60/N59, N57/N60, N61/N62, N62/N63, N64/N63, N61/N64, N65/N66, N66/N67, N68/N67, N65/N68, N69/N70, N70/N71, N72/N71, N69/N72, N2/N4, N4/N8, N6/N8 e N2/N6
3	N9/N10, N9/N12 e N16/N15
4	N10/N11, N13/N16 e N17/N18
5	N12/N11, N17/N20 e N21/N22
6	N13/N14 e N14/N15
7	N18/N19, N24/N23, N25/N26, N29/N30 e N33/N34
8	N20/N19
9	N71/N6, N72/N8, N70/N8, N71/N4, N70/N2, N69/N4, N69/N6, N72/N2, N65/N70, N66/N69, N68/N69, N65/N72, N67/N72, N68/N71, N61/N68, N64/N65, N64/N67, N63/N68, N61/N66, N62/N65, N63/N66, N62/N67, N57/N64, N60/N61, N60/N63, N59/N64, N57/N62, N58/N61, N59/N62, N58/N63, N53/N60, N56/N57, N56/N59, N55/N60, N53/N58, N54/N57, N55/N58, N54/N59, N49/N56, N52/N53, N52/N55, N51/N56, N49/N54, N50/N53, N51/N54, N50/N55, N45/N52, N48/N49, N48/N51, N47/N52, N45/N50, N46/N49, N47/N50, N46/N51, N41/N48, N44/N45, N44/N47, N43/N48, N41/N46, N42/N45, N43/N46, N42/N47, N37/N44, N40/N41, N40/N43, N39/N44, N37/N42, N38/N41, N39/N42, N38/N43, N33/N40, N36/N37, N36/N39, N35/N40, N33/N38, N34/N37, N35/N38, N34/N39, N29/N36, N32/N33, N32/N35, N31/N36, N29/N34, N30/N33, N31/N34, N30/N35, N25/N32, N28/N29, N28/N31, N27/N32, N25/N30, N26/N29, N27/N30, N26/N31, N21/N28, N24/N25, N24/N27, N23/N28, N21/N26, N22/N25, N23/N26, N22/N27, N17/N24, N20/N21, N20/N23, N19/N24, N17/N22, N18/N21, N19/N22, N18/N23, N13/N20, N16/N17, N16/N19, N15/N20, N13/N18, N14/N17, N15/N18, N14/N19, N9/N16, N12/N13, N12/N15, N11/N16, N9/N14 e N10/N13

Características mecânicas									
Material		Ref.	Descrição	A (cm ²)	Avy (cm ²)	Avz (cm ²)	Iyy (cm ⁴)	Izz (cm ⁴)	It (cm ⁴)
Tipo	Designação								
Aço laminado	A-572 345MPa	1	W 610 x 174, (I)	222.80	105.30	72.17	147754.00	12374.00	286.88
		2	W 150 x 13, (I)	16.60	7.35	5.35	635.00	82.00	1.72
		3	W 200 x 31.3, (I)	40.30	20.50	10.92	3168.00	410.00	12.59
		4	W 200 x 26.6, (I)	34.20	16.76	9.93	2611.00	330.00	7.65
		5	W 150 x 24.0, (I)	31.50	15.76	8.28	1384.00	183.00	11.08
		6	W 310 x 44.5, (I)	57.20	27.89	17.26	9997.00	855.00	19.90
		7	W 150 x 18, (I)	23.40	10.86	7.25	939.00	126.00	4.34
		8	W 200 x 22.5, (I)	29.00	12.24	10.60	2029.00	142.00	6.18
		9	L 300 x 300 x 25, (L)	142.70	68.75	68.75	12150.00	12150.00	299.48

Notação:
 Ref.: Referência
 A: Área da seção transversal
 Avy: Área de esforço cortante da seção segundo o eixo local "Y"
 Avz: Área de esforço cortante da seção segundo o eixo local "Z"
 Iyy: Inércia da seção em torno do eixo local "Y"
 Izz: Inércia da seção em torno do eixo local "Z"
 It: Inércia à torção
 As características mecânicas das peças correspondem à seção no ponto médio das mesmas.



Relatórios

Trabalho de Conclusão de Curso

Data: 17/09/24

2.1.2.4.- Tabela de ferro

Material		Tabela de ferro				
Tipo	Designação	Peça (Ni/Nf)	Perfil(Série)	Comprimento (m)	Volume (m³)	Peso (kg)
Aço laminado	A-572 345MPa	N1/N2	W 610 x 174 (I)	95.000	2.117	16615.31
		N3/N4	W 610 x 174 (I)	95.000	2.117	16615.31
		N5/N6	W 610 x 174 (I)	95.000	2.117	16615.31
		N7/N8	W 610 x 174 (I)	95.000	2.117	16615.31
		N1/N3	W 150 x 13 (I)	3.000	0.005	39.09
		N3/N7	W 150 x 13 (I)	2.000	0.003	26.06
		N5/N7	W 150 x 13 (I)	3.000	0.005	39.09
		N1/N5	W 150 x 13 (I)	2.000	0.003	26.06
		N9/N10	W 200 x 31.3 (I)	3.000	0.012	94.91
		N10/N11	W 200 x 26.6 (I)	2.000	0.007	53.69
		N12/N11	W 150 x 24.0 (I)	3.000	0.009	74.18
		N9/N12	W 200 x 31.3 (I)	2.000	0.008	63.27
		N13/N14	W 310 x 44.5 (I)	3.000	0.017	134.71
		N14/N15	W 310 x 44.5 (I)	2.000	0.011	89.80
		N16/N15	W 200 x 31.3 (I)	3.000	0.012	94.91
		N13/N16	W 200 x 26.6 (I)	2.000	0.007	53.69
		N17/N18	W 200 x 26.6 (I)	3.000	0.010	80.54
		N18/N19	W 150 x 18 (I)	2.000	0.005	36.74
		N20/N19	W 200 x 22.5 (I)	3.000	0.009	68.29
		N17/N20	W 150 x 24.0 (I)	2.000	0.006	49.45
		N21/N22	W 150 x 24.0 (I)	3.000	0.009	74.18
		N22/N23	W 150 x 13 (I)	2.000	0.003	26.06
		N24/N23	W 150 x 18 (I)	3.000	0.007	55.11
		N21/N24	W 150 x 13 (I)	2.000	0.003	26.06
		N25/N26	W 150 x 18 (I)	3.000	0.007	55.11
		N26/N27	W 150 x 13 (I)	2.000	0.003	26.06
		N28/N27	W 150 x 13 (I)	3.000	0.005	39.09
		N25/N28	W 150 x 13 (I)	2.000	0.003	26.06
		N29/N30	W 150 x 18 (I)	3.000	0.007	55.11
		N30/N31	W 150 x 13 (I)	2.000	0.003	26.06
		N32/N31	W 150 x 13 (I)	3.000	0.005	39.09
		N29/N32	W 150 x 13 (I)	2.000	0.003	26.06
		N33/N34	W 150 x 18 (I)	3.000	0.007	55.11
		N34/N35	W 150 x 13 (I)	2.000	0.003	26.06
		N36/N35	W 150 x 13 (I)	3.000	0.005	39.09
		N33/N36	W 150 x 13 (I)	2.000	0.003	26.06
		N37/N38	W 150 x 13 (I)	3.000	0.005	39.09
		N38/N39	W 150 x 13 (I)	2.000	0.003	26.06
		N40/N39	W 150 x 13 (I)	3.000	0.005	39.09
		N37/N40	W 150 x 13 (I)	2.000	0.003	26.06
		N41/N42	W 150 x 13 (I)	3.000	0.005	39.09
		N42/N43	W 150 x 13 (I)	2.000	0.003	26.06
		N44/N43	W 150 x 13 (I)	3.000	0.005	39.09
		N41/N44	W 150 x 13 (I)	2.000	0.003	26.06



Relatórios

Trabalho de Conclusão de Curso

Data: 17/09/24

Tabela de ferro						
Material		Peça (Ni/Nf)	Perfil(Série)	Comprimento (m)	Volume (m³)	Peso (kg)
Tipo	Designação					
		N45/N46	W 150 x 13 (I)	3.000	0.005	39.09
		N46/N47	W 150 x 13 (I)	2.000	0.003	26.06
		N48/N47	W 150 x 13 (I)	3.000	0.005	39.09
		N45/N48	W 150 x 13 (I)	2.000	0.003	26.06
		N49/N50	W 150 x 13 (I)	3.000	0.005	39.09
		N50/N51	W 150 x 13 (I)	2.000	0.003	26.06
		N52/N51	W 150 x 13 (I)	3.000	0.005	39.09
		N49/N52	W 150 x 13 (I)	2.000	0.003	26.06
		N53/N54	W 150 x 13 (I)	3.000	0.005	39.09
		N54/N55	W 150 x 13 (I)	2.000	0.003	26.06
		N56/N55	W 150 x 13 (I)	3.000	0.005	39.09
		N53/N56	W 150 x 13 (I)	2.000	0.003	26.06
		N57/N58	W 150 x 13 (I)	3.000	0.005	39.09
		N58/N59	W 150 x 13 (I)	2.000	0.003	26.06
		N60/N59	W 150 x 13 (I)	3.000	0.005	39.09
		N57/N60	W 150 x 13 (I)	2.000	0.003	26.06
		N61/N62	W 150 x 13 (I)	3.000	0.005	39.09
		N62/N63	W 150 x 13 (I)	2.000	0.003	26.06
		N64/N63	W 150 x 13 (I)	3.000	0.005	39.09
		N61/N64	W 150 x 13 (I)	2.000	0.003	26.06
		N65/N66	W 150 x 13 (I)	3.000	0.005	39.09
		N66/N67	W 150 x 13 (I)	2.000	0.003	26.06
		N68/N67	W 150 x 13 (I)	3.000	0.005	39.09
		N65/N68	W 150 x 13 (I)	2.000	0.003	26.06
		N69/N70	W 150 x 13 (I)	3.000	0.005	39.09
		N70/N71	W 150 x 13 (I)	2.000	0.003	26.06
		N72/N71	W 150 x 13 (I)	3.000	0.005	39.09
		N69/N72	W 150 x 13 (I)	2.000	0.003	26.06
		N2/N4	W 150 x 13 (I)	3.000	0.005	39.09
		N4/N8	W 150 x 13 (I)	2.000	0.003	26.06
		N6/N8	W 150 x 13 (I)	3.000	0.005	39.09
		N2/N6	W 150 x 13 (I)	2.000	0.003	26.06
		N71/N6	L 300 x 300 x 25 (L)	4.610	0.066	516.38
		N72/N8	L 300 x 300 x 25 (L)	4.610	0.066	516.38
		N70/N8	L 300 x 300 x 25 (L)	4.031	0.058	451.57
		N71/N4	L 300 x 300 x 25 (L)	4.031	0.058	451.57
		N70/N2	L 300 x 300 x 25 (L)	4.610	0.066	516.38
		N69/N4	L 300 x 300 x 25 (L)	4.610	0.066	516.38
		N69/N6	L 300 x 300 x 25 (L)	4.031	0.058	451.57



Relatórios

Trabalho de Conclusão de Curso

Data: 17/09/24

Tabela de ferro						
Material		Peça (Ni/Nf)	Perfil(Série)	Comprimento (m)	Volume (m³)	Peso (kg)
Tipo	Designação					
		N72/N2	L 300 x 300 x 25 (L)	4.031	0.058	451.57
		N65/N70	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	0.096	751.45
		N66/N69	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	0.096	751.45
		N68/N69	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	0.090	708.47
		N65/N72	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	0.090	708.47
		N67/N72	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	0.096	751.45
		N68/N71	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	0.096	751.45
		N61/N68	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	0.090	708.47
		N64/N65	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	0.090	708.47
		N64/N67	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	0.096	751.45
		N63/N68	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	0.096	751.45
		N61/N66	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	0.096	751.45
		N62/N65	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	0.096	751.45
		N63/N66	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	0.090	708.47
		N62/N67	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	0.090	708.47
		N57/N64	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	0.090	708.47
		N60/N61	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	0.090	708.47
		N60/N63	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	0.096	751.45
		N59/N64	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	0.096	751.45
		N57/N62	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	0.096	751.45
		N58/N61	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	0.096	751.45
		N59/N62	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	0.090	708.47
		N58/N63	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	0.090	708.47
		N53/N60	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	0.090	708.47
		N56/N57	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	0.090	708.47



Relatórios

Trabalho de Conclusão de Curso

Data: 17/09/24

Tabela de ferro						
Material		Peça (Ni/Nf)	Perfil(Série)	Comprimento (m)	Volume (m³)	Peso (kg)
Tipo	Designação					
		N56/N59	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	0.096	751.45
		N55/N60	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	0.096	751.45
		N53/N58	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	0.096	751.45
		N54/N57	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	0.096	751.45
		N55/N58	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	0.090	708.47
		N54/N59	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	0.090	708.47
		N49/N56	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	0.090	708.47
		N52/N53	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	0.090	708.47
		N52/N55	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	0.096	751.45
		N51/N56	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	0.096	751.45
		N49/N54	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	0.096	751.45
		N50/N53	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	0.096	751.45
		N51/N54	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	0.090	708.47
		N50/N55	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	0.090	708.47
		N45/N52	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	0.090	708.47
		N48/N49	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	0.090	708.47
		N48/N51	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	0.096	751.45
		N47/N52	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	0.096	751.45
		N45/N50	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	0.096	751.45
		N46/N49	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	0.096	751.45
		N47/N50	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	0.090	708.47
		N46/N51	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	0.090	708.47
		N41/N48	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	0.090	708.47
		N44/N45	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	0.090	708.47
		N44/N47	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	0.096	751.45



Relatórios

Trabalho de Conclusão de Curso

Data: 17/09/24

Tabela de ferro						
Material		Peça (Ni/Nf)	Perfil(Série)	Comprimento (m)	Volume (m³)	Peso (kg)
Tipo	Designação					
		N43/N48	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	0.096	751.45
		N41/N46	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	0.096	751.45
		N42/N45	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	0.096	751.45
		N43/N46	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	0.090	708.47
		N42/N47	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	0.090	708.47
		N37/N44	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	0.090	708.47
		N40/N41	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	0.090	708.47
		N40/N43	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	0.096	751.45
		N39/N44	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	0.096	751.45
		N37/N42	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	0.096	751.45
		N38/N41	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	0.096	751.45
		N39/N42	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	0.090	708.47
		N38/N43	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	0.090	708.47
		N33/N40	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	0.090	708.47
		N36/N37	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	0.090	708.47
		N36/N39	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	0.096	751.45
		N35/N40	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	0.096	751.45
		N33/N38	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	0.096	751.45
		N34/N37	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	0.096	751.45
		N35/N38	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	0.090	708.47
		N34/N39	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	0.090	708.47
		N29/N36	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	0.090	708.47
		N32/N33	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	0.090	708.47
		N32/N35	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	0.096	751.45
		N31/N36	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	0.096	751.45



Relatórios

Trabalho de Conclusão de Curso

Data: 17/09/24

Tabela de ferro						
Material		Peça (Ni/Nf)	Perfil(Série)	Comprimento (m)	Volume (m³)	Peso (kg)
Tipo	Designação					
		N29/N34	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	0.096	751.45
		N30/N33	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	0.096	751.45
		N31/N34	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	0.090	708.47
		N30/N35	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	0.090	708.47
		N25/N32	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	0.090	708.47
		N28/N29	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	0.090	708.47
		N28/N31	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	0.096	751.45
		N27/N32	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	0.096	751.45
		N25/N30	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	0.096	751.45
		N26/N29	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	0.096	751.45
		N27/N30	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	0.090	708.47
		N26/N31	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	0.090	708.47
		N21/N28	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	0.090	708.47
		N24/N25	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	0.090	708.47
		N24/N27	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	0.096	751.45
		N23/N28	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	0.096	751.45
		N21/N26	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	0.096	751.45
		N22/N25	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	0.096	751.45
		N23/N26	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	0.090	708.47
		N22/N27	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	0.090	708.47
		N17/N24	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	0.090	708.47
		N20/N21	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	0.090	708.47
		N20/N23	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	0.096	751.45
		N19/N24	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	0.096	751.45
		N17/N22	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	0.096	751.45



Relatórios

Trabalho de Conclusão de Curso

Data: 17/09/24

Tabela de ferro						
Material		Peça (Ni/Nf)	Perfil(Série)	Comprimento (m)	Volume (m ³)	Peso (kg)
Tipo	Designação					
		N18/N21	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	0.096	751.45
		N19/N22	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	0.090	708.47
		N18/N23	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	0.090	708.47
		N13/N20	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	0.090	708.47
		N16/N17	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	0.090	708.47
		N16/N19	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	0.096	751.45
		N15/N20	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	0.096	751.45
		N13/N18	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	0.096	751.45
		N14/N17	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	0.096	751.45
		N15/N18	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	0.090	708.47
		N14/N19	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	0.090	708.47
		N9/N16	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	0.090	708.47
		N12/N13	L 300 x 300 x 25 (L)	6.325	0.090	708.47
		N12/N15	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	0.096	751.45
		N11/N16	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	0.096	751.45
		N9/N14	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	0.096	751.45
		N10/N13	L 300 x 300 x 25 (L)	6.708	0.096	751.45
Notação: Ni: Nó inicial Nf: Nó final						

2.1.2.5.- Tabela resumo



Relatórios

Trabalho de Conclusão de Curso

Data: 17/09/24

Tabela resumo												
Material		Série	Perfil	Comprimento			Volume			Peso		
Tipo	Designação			Perfil (m)	Série (m)	Material (m)	Perfil (m³)	Série (m³)	Material (m³)	Perfil (kg)	Série (kg)	Material (kg)
Aço laminado	A-572 345MPa	I	W 610 x 174	380.000			8.466			66461.24		
			W 150 x 13	135.000			0.224			1759.19		
			W 200 x 31.3	8.000			0.032			253.08		
			W 200 x 26.6	7.000			0.024			187.93		
			W 150 x 24.0	8.000			0.025			197.82		
			W 310 x 44.5	5.000			0.029			224.51		
			W 150 x 18	14.000			0.033			257.17		
			W 200 x 22.5	3.000			0.009			68.29		
						560.000			8.842			69409.23
		L	L 300 x 300 x 25	791.231			11.291			88633.29		
						791.231			11.291			88633.29
										158042.52		
										20.133		

2.1.2.6.- Quantitativos de superfícies

Aço laminado: Quantitativos das superfícies a pintar				
Série	Perfil	Superfície unitária (m²/m)	Comprimento (m)	Formas (m²)
I	W 610 x 174	2.504	380.000	951.520
	W 150 x 13	0.687	135.000	92.799
	W 200 x 31.3	0.943	8.000	7.546
	W 200 x 26.6	0.934	7.000	6.541
	W 150 x 24.0	0.715	8.000	5.718
	W 310 x 44.5	1.277	5.000	6.384
	W 150 x 18	0.702	14.000	9.834
	W 200 x 22.5	0.808	3.000	2.423
L	L 300 x 300 x 25	1.200	791.231	949.477
Total				2032.241