



PROJETO DE GRADUAÇÃO

**PROJETO DE UM ELEVADOR PARA O PRÉDIO
SG-09 DO ENM/UNB**

Por,
Felipe de Oliveira Ferreira

Brasília, 27 de Novembro de 2015

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
Faculdade de Tecnologia
Departamento de Engenharia Mecânica

PROJETO DE GRADUAÇÃO

PROJETO DE UM ELEVADOR PARA O PRÉDIO SG-09 DO ENM/UNB

POR,

Felipe de Oliveira Ferreira

Relatório submetido como requisito parcial para obtenção
do grau de Engenheiro Mecânico.

Banca Examinadora

Prof. Thiago Doca, UnB/ ENM (Orientador)

Prof. Antonio Piratelli Filho, UnB/ ENM

Prof. Walter de Britto Vidal Filho, UnB/ ENM

Brasília, 27 de Novembro de 2015

Dedicatória

Dedico esse trabalho ao meu avô Ednan de Oliveira, pois foi ele que me ensinou que a grandeza de um homem é medida pelos seus pensamentos.

Felipe de Oliveira Ferreira

Agradecimentos

Gostaria de agradecer a Deus pelas oportunidades. Aos meus pais, Ernani Luiz Ferreira e Synara Tadeu de Oliveira Ferreira, por todo o apoio que me deram ao longo da minha vida escolar e acadêmica. Agradecer ao meu orientador, Thiago Doca, aos meus parentes, amigos, colegas, professores, e todos que contribuíram e contribuem para que mais essa etapa da minha vida seja conquistada.

Felipe de Oliveira Ferreira

RESUMO

Este trabalho visa a elaboração de um projeto de elevador de médio porte para o transporte de pessoas e cargas no galpão de serviços gerais nº09 da Universidade de Brasília. O elevador deve ser capaz de transportar um mínimo de 500 kg e/ou 6 pessoas, além de acomodar um cadeirante de acordo com as normas do setor. Ao final do projeto, obteve-se um sistema com capacidade nominal de 630 kg ou apto a carregar 8 pessoas, em uma cabina com área de 1,61 m². O elevador percorre um trajeto de 3,15 m em 5 s, apto a atender a uma demanda de 52 passageiros em 5 minutos. Possui motor com 2kW de potência, que traciona 3 cabos de aço de 8 mm cada. O documento inclui também a sugestão de uso de uma plataforma de elevação, equipamento que atenderia às condições mínimas impostas por lei para o transporte de deficientes físicos. O objetivo deste estudo é a disponibilização ao departamento de engenharia mecânica de um projeto mecânico completo para instalação deste equipamento quando pertinente.

| Normas utilizadas |
|--|
| NBR 196:1999 – Elevador de Passageiros e Monta-cargas, Guia para carros e contrapesos – Perfil T. |
| NBR 14712:2001 – Elevadores elétricos – Elevadores de carga, monta-carga e elevadores de maca – Requisitos de segurança para projeto, fabricação e instalação. |
| NBR 207:1999 – Elevadores elétricos de passageiros – Requisitos de segurança para construção e instalação. |
| NBR 16042:2013 - Elevadores elétricos de passageiros – Requisitos de segurança para construção e instalação de elevadores sem casa de máquinas. |
| NBR 267:2001 - Elevadores hidráulicos de passageiros – Requisitos de segurança para construção e instalação. |
| NBR 13994:2000 – Elevadores de passageiros – Elevadores para transporte de pessoa portadora de deficiência. |
| NBR 9050:2004 – Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos. |
| NBR 5665: 1983 – Cálculo do tráfego nos elevadores. |

ABSTRACT

The aim of this work is the development of a medium-sized elevator project for the transportation of people and cargo in the building named “Serviços Gerais nº09” at University of Brasilia. The elevator must be able to carry a minimum of 500 kg and/or 6 persons, including the specifications for carrying a wheelchair user. At the end of the project, it was developed an elevator with nominal load of 630 kg, or able to carry 8 persons in a cabin with an area of 1,61 m². The lift travels a path of 3,15 m in 5 s, able to meet a demand of 52 passengers in 5 minutes. It has a motor with an output of 2kW, which pulls three steel cables with 8 mm each. The document also includes the suggestion of using a lifting platform, equipment that would meet the minimum conditions required by law for the transportation of disabled people. The aim of this study is to provide to the department of mechanical engineering a complete mechanical project for the installation of this equipment whenever appropriate.

| Used Standards |
|---|
| NBR 196:1999 – Passenger Elevator and Freight Lifts, Guide for cars and counterweights - Profile T. |
| NBR 14712:2001 – Electric Elevators – Cargo lift, freight lifts and stretcher lifts - Safety requirements for design, fabrication and installation. |
| NBR 207:1999 - Electric passenger lifts - Safety requirements for construction and installation. |
| NBR 16042:2013 - Electric passenger lifts - Safety requirements for construction and installation of elevators without machine room. |
| NBR 267:2001 - Hydraulic passenger lifts - Safety requirements for construction and installation. |
| NBR 13994:2000 - Lifts - Lifts for the transport of disabled person. |
| NBR 9050:2004 – Accessibility to buildings, furniture, spaces and urban facilities. |
| NBR 5665: 1983 – Calculation of traffic in the elevators. |

SUMÁRIO

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1 | CONTEXTUALIZAÇÃO | 1 |
| 1.2 | ELEMENTOS DE UM ELEVADOR | 1 |
| 1.2.1 | Cabina..... | 1 |
| 1.2.2 | Caixa..... | 2 |
| 1.2.3 | Contrapeso..... | 3 |
| 1.2.4 | Guias..... | 3 |
| 1.2.5 | Máquina de tração..... | 4 |
| 1.2.6 | Meios de suspensão..... | 4 |
| 1.2.7 | Freio de segurança..... | 4 |
| 1.2.8 | Limitador de velocidade..... | 5 |
| 1.3 | OBJETIVOS | 5 |
| 1.4 | ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO | 5 |
| 2 | METODOLOGIA..... | 6 |
| 2.1 | FLUXOGRAMA DE TRABALHO | 6 |
| 2.2 | PESQUISA NORMATIVA | 7 |
| 2.3 | ESTUDO DO EDIFÍCIO..... | 8 |
| 3 | DECISÕES DE PROJETO | 18 |
| 3.1 | TIPO DE ELEVADOR | 18 |
| 3.2 | VIABILIDADE DA AUSÊNCIA DA CASA DE MÁQUINAS | 18 |
| 4 | CÁLCULO DE TRÁFEGO | 23 |
| 4.1 | DEMANDA..... | 24 |
| 4.2 | INTERVALO DE TRÁFEGO MÁXIMO ADMISSÍVEL | 25 |
| 4.3 | CAPACIDADE | 25 |
| 4.4 | NÚMERO DE PARADAS | 25 |
| 4.5 | PARADAS PROVÁVEIS | 25 |
| 4.6 | PERCURSO | 26 |
| 4.7 | VELOCIDADE | 26 |
| 4.8 | TEMPO PARA PERCORRER O PERCURSO TOTAL | 26 |
| 4.9 | TEMPO TOTAL DE ACELERAÇÃO E RETARDAMENTO | 26 |
| 4.10 | TEMPO TOTAL DE ABERTURA E FECHAMENTO DAS PORTAS | 27 |
| 4.11 | TEMPO TOTAL DE ENTRADA E SAÍDA DE PASSAGEIROS | 27 |
| 4.12 | TEMPO TOTAL DE VIAGEM | 28 |
| 4.13 | INTERVALO DE TRÁFEGO..... | 28 |
| 4.14 | CAPACIDADE DE TRANSPORTE..... | 28 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 4.15 | AVALIAÇÃO DA SOLUÇÃO | 28 |
| 5 | PROJETO E SELEÇÃO | 30 |
| 5.1 | SISTEMA DE ELEVAÇÃO | 30 |
| 5.2 | CABINA..... | 32 |
| 5.2.1 | Dimensões | 32 |
| 5.2.2 | Estrutura principal..... | 34 |
| 5.2.3 | Painéis: piso, teto e paredes..... | 36 |
| 5.2.4 | Fixação dos painéis à estrutura principal | 36 |
| 5.2.5 | Montagem da cabina | 38 |
| 5.2.6 | Área superior da cabina | 39 |
| 5.3 | OPERADORES DE PORTA | 40 |
| 5.4 | SOLEIRA E PROTETOR DE SOLEIRA | 43 |
| 5.5 | MÁQUINA DE TRACÇÃO..... | 45 |
| 5.5.1 | Tipos de acionamento | 45 |
| 5.5.2 | Seleção do motor | 46 |
| 5.6 | CONTRAPESO..... | 48 |
| 5.7 | SELEÇÃO DOS CABOS DE SUSPENSÃO E POLIA DE DESVIO..... | 51 |
| 5.7.1 | Cabos de suspensão | 51 |
| 5.7.2 | Polia de desvio..... | 54 |
| 5.8 | TIRANTES..... | 55 |
| 5.8.1 | Seleção..... | 55 |
| 5.8.2 | Fixação dos cabos de aço | 57 |
| 5.9 | SISTEMA DE FREIOS | 57 |
| 5.9.1 | Freio do motor..... | 57 |
| 5.9.2 | Freio de segurança | 58 |
| 5.9.3 | Limitador de velocidade | 61 |
| 5.10 | GUIAS..... | 63 |
| 5.10.1 | Análise na atuação do freio de segurança..... | 67 |
| 5.10.1.1 | Tensão de flexão relativa ao eixo y da guia, devido à força na guia..... | 63 |
| 5.10.1.2 | Tensão de flexão relativa ao eixo x da guia, devido à força na guia..... | 64 |
| 5.10.1.3 | Flambagem..... | 65 |
| 5.10.1.4 | Tensão combinada..... | 65 |
| 5.10.1.5 | Flexão do boleto..... | 66 |
| 5.10.1.6 | Deflexões | 66 |
| 5.10.2 | Uso normal, em carregamento..... | 66 |
| 5.10.2.1 | Tensão de flexão relativa ao eixo y da guia, devido à força na guia..... | 66 |
| 5.10.2.2 | Tensão de flexão relativa ao eixo x da guia, devido à força na guia..... | 67 |
| 5.10.2.3 | Flambagem..... | 67 |
| 5.10.2.4 | Tensão combinada..... | 67 |
| 5.10.2.5 | Flexão do boleto..... | 67 |
| 5.10.2.6 | Deflexões | 67 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 5.10.3 | Seleção..... | 67 |
| 5.11 | PARA-CHOQUES | 68 |
| 5.12 | INTERIOR DA CABINA | 70 |
| 5.12.1 | Botoeira..... | 70 |
| 5.12.2 | Corrimão..... | 72 |
| 5.13 | SÍNTESE DO PROJETO..... | 73 |
| 6 | CUSTOS | 75 |
| 7 | PLATAFORMA DE ELEVAÇÃO..... | 78 |
| 7.1 | PLATAFORMA VERTICAL | 78 |
| 7.2 | PLATAFORMA INCLINADA | 79 |
| 8 | CONCLUSÃO | 81 |
| 9 | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 82 |
| 10 | ANEXOS | 85 |

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|------|--|----|
| 1.1 | Diferentes exemplos de cabinas..... | 2 |
| 1.2 | Interior de uma caixa de elevador | 3 |
| 1.3 | Armação de contrapeso | 3 |
| 1.4 | Exemplo de motor síncrono sem engrenagens, com polia acoplada | 4 |
| 1.5 | Diferentes modelos de limitadores de velocidade | 5 |
| | | |
| 2.1 | Fluxograma de trabalho do projeto | 6 |
| 2.2 | Parede lateral esquerda da área de entrada | 8 |
| 2.3 | Parede lateral esquerda da área de entrada, vista frontal | 8 |
| 2.4 | Visão frontal da área de entrada..... | 9 |
| 2.5 | Vista isométrica 1 do modelo criado para o SG-09 | 9 |
| 2.6 | Vista isométrica 2 do modelo criado para o SG-09 | 10 |
| 2.7 | Vista lateral do modelo criado para o SG-09..... | 10 |
| 2.8 | Vista frontal do modelo criado para o SG-09 | 11 |
| 2.9 | Teto do SG-09, com tubulação verde visível à esquerda | 11 |
| 2.10 | Laje do SG-09, onde se encerra a tubulação | 12 |
| 2.11 | Teto do SG-09, foto tirada da entrada do prédio | 12 |
| 2.12 | Laje do SG-09 e alçapão de acesso | 13 |
| 2.13 | Laje do SG-09 | 13 |
| 2.14 | Terceiro local considerado para instalação do elevador | 14 |
| 2.15 | Modelo do SG-09 com mezanino estendido | 14 |
| 2.16 | Portão de entrada do SG-09..... | 15 |
| | | |
| 3.1 | Esquema ilustrativo de elevador sem casa de máquinas | 19 |
| 3.2 | Esquema ilustrativo das variáveis que influenciam na rampa..... | 20 |
| 3.3 | Configuração futura da caixa do elevador (1) | 22 |
| 3.4 | Configuração futura da caixa do elevador (2) | 22 |
| | | |
| 4.1 | Quadro esquemático do cálculo de tráfego | 24 |
| | | |
| 5.1 | Configurações de elevação para elevadores | 30 |
| 5.2 | Diagrama de corpo livre da cabina e do contrapeso..... | 32 |
| 5.3 | Arranjos sem permitir o giro da cadeira de rodas..... | 33 |
| 5.4 | Primeira estrutura da cabina considerada | 35 |
| 5.5 | Estrutura escolhida para a cabina | 35 |
| 5.6 | Painéis: (a) Paredes laterais, (b) Piso e teto, (c) Paredes frontais e traseiras | 36 |
| 5.7 | Suportes da cabina | 36 |

| | | |
|------|---|----|
| 5.8 | Diagrama de corpo livre do piso da cabina | 37 |
| 5.9 | (a) Parafuso M6 de cabeça escareada. (b) Porca rebite M6..... | 38 |
| 5.10 | Ordem de montagem da cabina | 38 |
| 5.11 | Chapa superior da cabina | 39 |
| 5.12 | Cabina com chapa superior | 40 |
| 5.13 | Vista superior de um elevador com abertura lateral de duas folhas | 41 |
| 5.14 | Operador de porta da cabina | 42 |
| 5.15 | Folha que compõe porta a cabina | 42 |
| 5.16 | Características da ranhura da polia motora de modelo 32E | 43 |
| 5.17 | Vista isométrica das soleiras | 43 |
| 5.18 | Vista isométrica do protetor de soleira | 44 |
| 5.19 | Cabina com protetor de soleira acoplado | 44 |
| 5.20 | Gráficos de velocidade X tempo para diferentes tipos de motores | 45 |
| 5.21 | Motor G-400 T1 | 48 |
| 5.22 | Longarinas do contrapeso | 49 |
| 5.23 | Cabeçotes do contrapeso | 49 |
| 5.24 | Vista isométrica do contrapeso | 50 |
| 5.25 | Diagrama de corpo livre da base do contrapeso | 50 |
| 5.26 | Fator de segurança do cabo em função da relação dos diâmetros da polia motora e do cabo, para vários números equivalentes de polias | 52 |
| 5.27 | Seção de polia com ranhura semicircular recortada | 53 |
| 5.28 | Sistema de suspensão utilizado | 53 |
| 5.29 | Informações sobre o cabo de aço 8x19S-AF, da CIMAF..... | 54 |
| 5.30 | Polia de desvio selecionada | 55 |
| 5.31 | Esquema de fixação dos tirantes..... | 55 |
| 5.32 | Tirante 5/16" selecionado para o projeto | 56 |
| 5.33 | Passo a passo da fixação dos cabos ao tirante | 57 |
| 5.34 | Motores com (a) freios de sapata externa e (b) freios a disco | 58 |
| 5.35 | Desenhos técnicos dos freios da série DFX Y | 58 |
| 5.36 | Cunha de freio selecionada | 60 |
| 5.37 | Chapa de suporte do freio de segurança | 60 |
| 5.38 | Vista frontal do freio de segurança com suporte do tipo A..... | 61 |
| 5.39 | Esquema de travamento centrífugo do limitador de velocidades | 61 |
| 5.40 | Limitador de velocidade selecionado | 62 |
| 5.41 | Polia tensora selecionada..... | 62 |
| 5.42 | Perfil de guia selecionado | 68 |
| 5.43 | Esquema de fixação do suporte das corrediças | 68 |
| 5.44 | Gráfico do percurso mínimo requerido para o para-choque em função de sua velocidade | 69 |
| 5.45 | Para-choque do tipo mola selecionado..... | 70 |
| 5.46 | Posicionamento da botoeira em relação à parede direita da cabina..... | 70 |

| | | |
|-------|---|----|
| 5.47 | Símbolos de identificação de comandos | 71 |
| 5.48 | Botoeira selecionada | 72 |
| 5.49 | Seção transversal do corrimão | 72 |
| 6.1 | Custos envolvidos no projeto de elevador | 77 |
| 7.1 | Características e opções disponíveis para instalação da plataforma vertical | 78 |
| 7.2 | Plataforma Easy Vertical | 79 |
| 7.3 | Plataforma Easy Inclined | 80 |
| 10.1 | Tensão de von Mises no corrimão | 86 |
| 10.2 | Deslocamento na estrutura principal | 86 |
| 10.3 | Tensão de von Mises no piso da cabina..... | 87 |
| 10.4 | Deslocamento no piso da cabina..... | 88 |
| 10.5 | Tensão de von Mises na parede..... | 89 |
| 10.6 | Deslocamento na parede | 89 |
| 10.7 | Tensão de von Mises na chapa superior..... | 90 |
| 10.8 | Deslocamento na chapa superior | 90 |
| 10.9 | Tensão de von Mises no contrapeso | 91 |
| 10.10 | Deslocamento no contrapeso | 91 |
| 10.11 | Tensão de von Mises no corrimão | 92 |
| 10.12 | Deslocamento no corrimão | 92 |

LISTA DE TABELAS

| | | |
|-----|--|----|
| 2.1 | Avaliação da localização do elevador | 15 |
| 4.1 | Valores de intervalo de tráfego máximo admissível | 25 |
| 4.2 | Orientação para definição da velocidade de elevadores em edifícios não-residenciais..... | 26 |
| 4.3 | Tempo de aceleração e retardamento em cada parada | 27 |
| 4.4 | Tempo de abertura das portas..... | 27 |
| 4.5 | Tempo de entrada e saída de passageiros..... | 28 |
| 4.6 | Grau de serviço dos elevadores | 29 |
| 5.1 | Características de cada configuração de sustentação do elevador | 31 |
| 5.2 | Arranjos-padrão de cabina para transporte de pessoa portadora de deficiência..... | 33 |
| 5.3 | Área máxima da cabina | 34 |
| 5.4 | Área mínima da cabina..... | 34 |
| 5.5 | Componentes do elevador e suas respectivas massas | 46 |
| 5.6 | Número equivalente de polias | 53 |
| 5.7 | Características dos freios | 59 |
| 5.8 | Tensões admissíveis..... | 63 |
| 5.9 | Componentes, modelos e fabricantes selecionados..... | 73 |
| 6.1 | Orçamento dos componentes do elevador..... | 75 |
| 6.2 | Custos envolvidos no projeto | 76 |

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolos Latinos

| | | |
|----------------|---|---------------------|
| a | Ângulo de inclinação da rampa | [°] |
| v | Velocidade nominal do elevador | [m/s] |
| C | Capacidade | [pessoas] |
| P_{ar} | Número de paradas | [-] |
| N | Paradas prováveis | [-] |
| S | Percurso | [m] |
| T_1 | Tempo para percorrer percurso total | [s] |
| T_2 | Tempo total de aceleração e retardamento | [s] |
| T_3 | Tempo total de abertura e fechamento das portas | [s] |
| T_4 | Tempo total de entrada e saída dos passageiros | [s] |
| T | Tempo total de viagem | [s] |
| I | Intervalo de tráfego | [s] |
| C_t | Capacidade de transporte | [pessoas/5minutos] |
| K | Grau de serviço | [s] |
| P_n | Peso nominal | [kg] |
| m | Massa | [kg] |
| g_n | Aceleração da gravidade | [m/s ²] |
| F | Força | [N] |
| R | Força de reação | [N] |
| A | Área | [m] |
| T_{or} | Torque | [N.m] |
| W | Módulo de resistência | [m ³] |
| D_t | Diâmetro da polia motriz | [mm] |
| d_r | Diâmetro do cabo de aço | [mm] |
| N_{equiv} | Número equivalente de polias do sistema | [-] |
| $N_{equiv(t)}$ | Número equivalente de polias motrizes | [-] |
| $N_{equiv(p)}$ | Número equivalente de polias de desvio | [-] |
| K_p | Fator de relação entre os diâmetros das polias motriz e de desvio | [-] |
| N_{ps} | Número de polias com flexão simples | [-] |
| N_{pr} | Número de polias com flexão reversa | [-] |
| D_p | Diâmetro médio de todas as polias, excluída a motriz | [mm] |
| F_{freio} | Força de frenagem | [N] |

| | | |
|-----------|---|----------------------|
| P | Massa da cabina | [kg] |
| Q | Carga nominal | [kg] |
| d | Retardo recomendado | [m] |
| R_m | Tensão de ruptura | [N/mm ²] |
| F_x | Força de apoio no eixo x | [N] |
| k_1 | Fator de impacto | [-] |
| n | Número de guias | [-] |
| h | Distância entre cursores de carro | [mm] |
| X_P | Posição da massa da cabina em relação às coordenadas transversais da guia | [mm] |
| X_Q | Posição da carga nominal em relação às coordenadas transversais da guia | [mm] |
| D_x | Largura da cabina | [mm] |
| M_y | Momento fletor em relação ao eixo y | [N.mm] |
| I | Distância máxima entre os suportes da guia | [mm] |
| W_y | Módulo de resistência à flexão em relação ao eixo y | [mm ³] |
| Y_P | Posição da massa da cabina em relação às coordenadas transversais da guia | [mm] |
| Y_Q | Posição da carga nominal em relação às coordenadas transversais da guia | [mm] |
| D_y | Profundidade da cabina | [mm] |
| F_y | Força de apoio no eixo y | [N] |
| M_x | Momento fletor em relação ao eixo x | [N.mm] |
| W_x | Módulo de resistência à flexão em relação ao eixo x | [mm ³] |
| F_k | Força de flambagem na guia | [N] |
| k_3 | Fator de impacto | [-] |
| M_{aux} | Força em uma guia devido ao equipamento auxiliar | [N] |
| ω | Coefficiente de flambagem | [-] |
| F_b | Força exercida pelo cursor contra o boleto | [N] |
| c | Largura da alma da guia | [mm] |
| E | Módulo de elasticidade | [MPa] |
| I_x | Momento de inércia da área no eixo X | [mm ⁴] |
| I_y | Momento de inércia da área no eixo Y | [mm ⁴] |
| F_s | Força na soleira | [N] |
| P_{ot} | Potência do motor | [kW] |
| t_o | Tempo de operação do motor | [h] |
| p_r | Preço do kWh no Distrito Federal | [centavos de real] |
| C_o | Custo operacional | [reais] |

Símbolos Gregos

| | | |
|---------------|---|-------|
| γ | Ângulo da ranhura | [°] |
| β | Ângulo do recorte | [°] |
| σ | Tensão normal | [Pa] |
| τ | Tensão de cisalhamento | [Pa] |
| σ_m | Tensão de flexão | [MPa] |
| σ_x | Tensão de flexão no eixo x | [MPa] |
| σ_y | Tensão de flexão no eixo y | [MPa] |
| σ_{mk} | Tensão de flexão e flambagem combinadas | [MPa] |
| σ_c | Tensão de compressão | [MPa] |
| σ_f | Tensão de flexão pontual do boleto | [MPa] |
| δ_x | Deflexão no eixo X | [mm] |
| δ_y | Deflexão no eixo Y | [mm] |

Siglas

| | |
|------|--|
| SG | Serviços Gerais |
| NBR | Norma Brasileira |
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

O galpão de serviços gerais número 09 é um prédio que se encontra no campus Darcy Ribeiro da Universidade de Brasília. Abriga laboratórios, salas de aula e de professores, além de uma oficina mecânica utilizada para formação e prestação de serviços aos cursos da universidade. As instalações do galpão são distribuídas em dois pavimentos e, atualmente, a única forma de acesso ao segundo andar são escadas que se encontram no hall de entrada do edifício e em uma de suas extremidades laterais. Segundo a Lei nº 10098 [1], que estabelece normas gerais e critérios básicos para a promoção da acessibilidade a edifícios públicos ou de uso coletivo, de pessoas portadoras de deficiência ou com mobilidade reduzida, “pelo menos um dos itinerários que comuniquem horizontal e verticalmente todas as dependências e serviços do edifício, entre si e com o exterior, deverá cumprir os requisitos de acessibilidade de que trata esta Lei”. Entre tais requisitos, está a eliminação de barreiras arquitetônicas tais como escadas.

Outro fator notável é que por se tratar de um prédio com diversos laboratórios, o transporte de tipos variados de carga é muito comum nas dependências do SG-09. Na presente condição, o acesso único por meio de escadas dificulta a movimentação de cargas mais pesadas entre os pavimentos, tornando o processo ineficiente e em alguns casos até mesmo inseguro.

A instalação de um elevador para passageiros e carga visa suprir exatamente essa demanda de um transporte vertical mais cômodo e fácil para os usuários do prédio, quaisquer que sejam suas particularidades.

1.2 ELEMENTOS DE UM ELEVADOR

A Norma Brasileira 5666 [2] define o elevador como um “aparelho estacionário provido de cabina que se move aproximadamente na vertical entre guias, servindo a níveis distintos e destinados ao transporte de pessoas e carga”. Visando cumprir tal tarefa de forma eficiente, configurações diversas podem ser encontradas, que englobam elevadores elétricos, hidráulicos e manuais, por exemplo. Nas seções subsequentes são apresentados os principais componentes de um elevador elétrico para passageiros, uma vez que foi essa a configuração escolhida para o projeto.

1.2.1 Cabina

Trata-se do componente do elevador responsável pelo transporte de carga ou de passageiros. É içada por meio de elementos de tração e se desliza pelas guias, através de corrediças. Sua área útil varia conforme sua carga nominal e sua capacidade de passageiros. Costumam possuir armação de aço

estrutural e o material de seu interior varia bastante, sendo comuns aço inox ou madeira. Apresentam designs diversos, que variam de modelos simples a luxuosos, conforme pode ser observado na Figura 1.1.

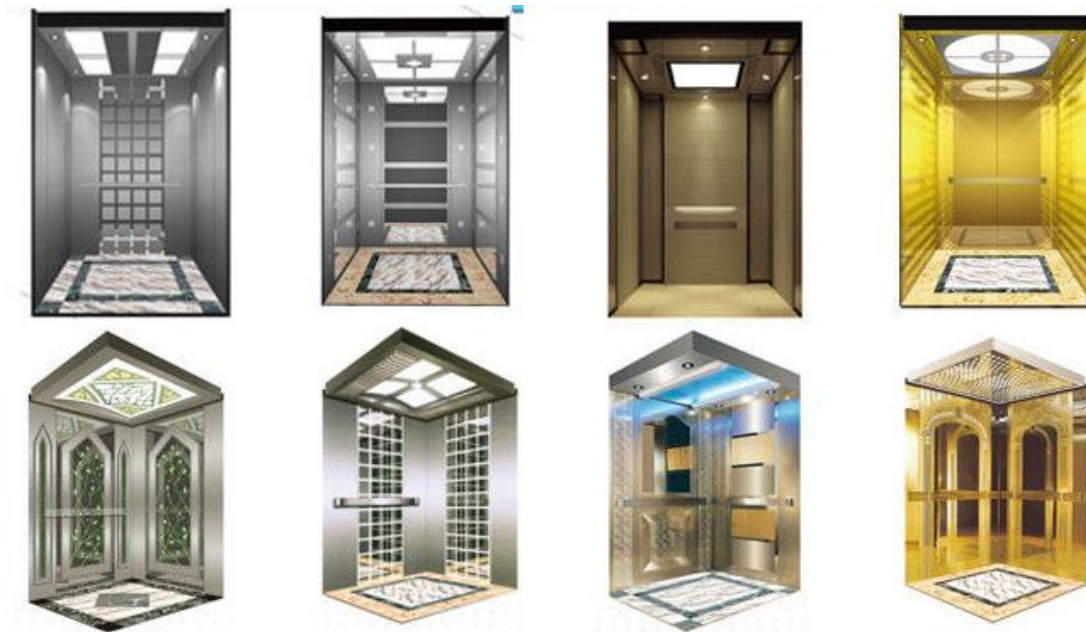


Figura 1.1. Diferentes exemplos de cabinas. [3]

1.2.2 Caixa

É o espaço onde viajam a cabina e o contrapeso. É limitada pelo fundo do poço, pelas paredes e pelo teto. Estes devem ser capazes de suportar as cargas aplicadas pela máquina, pelo freio de segurança, pelas guias, para-choque e demais componentes do elevador. Devem ser feitas com material incombustível, formando uma superfície lisa. É obrigatória a presença de portas de inspeção e emergência para garantir o funcionamento seguro de todo o conjunto.

As caixas não devem conter qualquer equipamento além do necessário para o funcionamento do sistema de elevação. Além disso, são obrigatórias iluminação e ventilação adequadas, sendo que os sistemas que promovem essas funções devem atender exclusivamente a ela. A Figura 1.2 ilustra a vista de um poço de elevador.



Figura 1.2. Interior de uma caixa de elevador. [4]

1.2.3 Contrapeso

Trata-se de uma armação metálica formada por duas longarinas e dois cabeçotes, onde são fixados pesos intermediários, de tal forma que o conjunto tenha massa total igual ao do carro acrescido de 40 a 50% da capacidade nominal do elevador. Sua função é se movimentar no sentido contrário ao da cabina, assegurando um menor esforço da máquina de tração durante a movimentação de todo o conjunto. Costuma se localizar na lateral da caixa. A Figura 1.3 ilustra este componente.



Figura 1.3. Armação de contrapeso. [5]

1.2.4 Guias

Componentes rígidos destinados a manter a direção do movimento do carro ou do contrapeso. Costumam ser fixadas em suportes de aço, os quais são chumbados em vigas, de concreto ou de aço, na caixa. Podem ser observadas na Fig. 1.2.

1.2.5 Máquina de tração

O sistema de acionamento dos elevadores em questão é composto por motores elétricos, que podem conter caixa redutora ou possuírem configurações sem engrenagens. Esses equipamentos variam bastante em função da carga a ser içada e possuem como finalidade proporcionar o movimento de subida e descida da cabina e do contrapeso. É também o responsável por imprimir a rotação necessária às polias neles acopladas. A Figura 1.4 ilustra um motor síncrono frequentemente utilizado em elevadores.



Figura 1.4. Exemplo de motor síncrono sem engrenagens, com polia acoplada. [6]

1.2.6 Meios de suspensão

Elementos que suportam o contrapeso e a cabina sobre a polia motriz e permitem a transformação da energia de um motor elétrico em movimento vertical. São exemplos os cabos de aço, cintas e cabos de fibra de carbono.

1.2.7 Freio de segurança

Componente de atuação mecânica fixado na armação da cabina ou do contrapeso, que tem como função pará-los de forma progressiva ou instantânea, prendendo-se as guias quando acionado pelo limitador de velocidade.

1.2.8 Limitador de velocidade

Dispositivo constituído de polia, cabo de aço e interruptor. Quando a velocidade do carro ultrapassa um limite preestabelecido, o limitador aciona mecanicamente o freio de segurança e desliga o motor do elevador. Diferentes modelos de limitadores podem ser observados na Figura 1.5.



Figura 1.5. Diferentes modelos de limitadores de velocidade. [7]

1.3 OBJETIVOS

O presente trabalho tem como finalidade disponibilizar para instalação um projeto de elevador de médio porte no prédio de serviços gerais nº09 da Universidade de Brasília. Diversas configurações e localidades para o elevador foram consideradas e seus componentes abordados um a um. O sistema deve ser capaz de comportar tanto carga quanto passageiros, incluindo aqueles com mobilidade reduzida. Dessa forma, o acesso ao segundo pavimento estará garantido para cadeirantes e para o transporte de equipamento para os laboratórios.

1.4 ESTRUTURA TEXTUAL

O capítulo 2 apresenta a metodologia utilizada. Particularmente, são apresentados um fluxograma de trabalho com os itens pesquisados e as normas necessárias para a execução do projeto, além de uma análise do edifício. Diversos locais de instalação para a máquina são propostos e comparados, explicitando-se vantagens, desvantagens e limitações de cada um. Essa análise serve como base para o capítulo 3, que consiste em decisões iniciais de projeto, como qual o tipo de elevador a ser utilizado. O capítulo 4 apresenta os cálculos de tráfego realizados para validar que o elevador consiga atender à demanda necessária de pessoas no prédio de uma maneira rápida e confortável. O projeto e seleção dos componentes do sistema de elevação são realizados no capítulo 5. O capítulo 6 apresenta o orçamento do projeto e o 7 algumas alternativas viáveis à implementação do elevador, a fim de garantir a acessibilidade do prédio.

2 METODOLOGIA

2.1 FLUXOGRAMA DE TRABALHO

A Figura 2.1 demonstra um esquema em blocos com as tarefas realizadas ao longo do projeto. O primeiro passo consistiu na leitura das normas referentes a elevadores, bem como na medição e estudo do hall de entrada do SG-09. A partir daí, deu-se início ao projeto ou seleção de cada componente. Vale ressaltar que muitas das escolhas tomadas ao longo do projeto fazem parte de um processo iterativo. Dessa forma, diversas decisões tomadas inicialmente foram se modificando, uma vez que o projeto foi evoluindo. Ainda assim, o fluxograma abaixo retrata um resumo cronológico do que foi realizado:

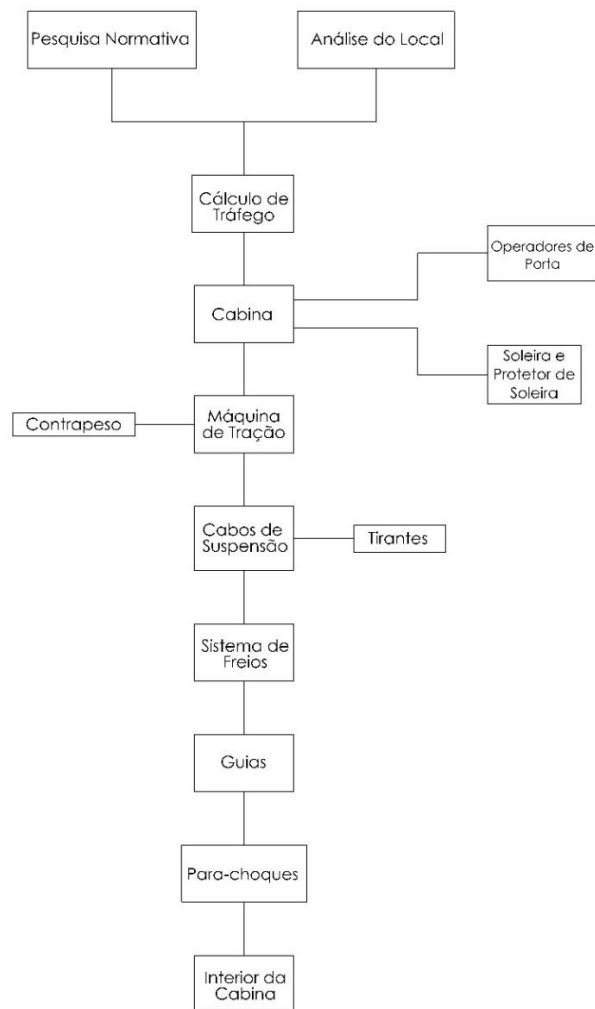


Figura 2.1. Fluxograma de trabalho do projeto.

2.2 PESQUISA NORMATIVA

Baseou-se na leitura das normas brasileiras disponíveis para projeto e implementação de máquinas de elevação relacionadas ao tema. As seguintes foram estudadas:

NBR196 [8] – Elevador de Passageiros e Monta-cargas. Guia para carros e contrapesos – Perfil T: com essa norma, informações importantes acerca das guias e talas de junção a serem utilizadas no projeto são disponibilizadas, como características dimensionais, tolerâncias, acabamentos superficiais, entre outras.

NBR14712 [9] – Elevadores elétricos – Elevadores de carga, monta-carga e elevadores de maca – Requisitos de segurança para projeto, fabricação e instalação: mesmo não se tratando de elevadores para passageiros, tal norma é importante por conta dos conceitos que traz a respeito da elevação de cargas, bem como regras de segurança que serão aproveitadas no projeto em questão.

NBR207 [10] – Elevadores elétricos de passageiros – Requisitos de segurança para construção e instalação: esta será a norma mais utilizada para o projeto, pois, se tratando de elevadores para passageiros, apresenta fatores mais rigorosos a favor da segurança quando comparados à norma para elevação de carga. Além disso, trata detalhadamente dos diversos componentes de projeto e suas especificações, como a cabina, casa de máquinas e de polias, suspensão, instalação elétrica, entre outros.

NBR16042 [11] - Elevadores elétricos de passageiros – Requisitos de segurança para construção e instalação de elevadores sem casa de máquinas: similar à norma anterior, mas como o nome diz, apresenta diretrizes para que os componentes da casa de máquinas sejam instalados dentro da própria caixa do elevador, reduzindo consideravelmente o espaço de instalação e as modificações necessárias no ambiente de atuação da máquina.

NBR267 [12] – Elevadores hidráulicos de passageiros – Requisitos de segurança para construção e instalação: norma similar à 207 no sentido de detalhar todos os componentes de um projeto, só que dessa vez, com acionamento hidráulico. Foi estudada uma vez que a possibilidade de adoção de tal tipo de elevador foi considerada.

NBR13994 [13] – Elevadores de passageiros – Elevadores para transporte de pessoa portadora de deficiência: tal norma visa adequar o projeto para que este possa também ser usado por cadeirantes ou pessoas de mobilidade reduzida, possibilitando acesso simplificado ao segundo pavimento do prédio.

NBR9050 [14] – Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos: tem como objetivo garantir à maior quantidade possível de pessoas a utilização de maneira autônoma e segura do ambiente urbano.

NBR5665 [15] – Cálculo do tráfego nos elevadores: fixa as condições mínimas exigíveis para o cálculo de tráfego das instalações de elevadores de passageiros em edifícios, para assegurar condições satisfatórias de uso.

2.3 ESTUDO DO EDIFÍCIO

A primeira tarefa realizada constituiu em uma análise do espaço físico no qual o elevador será instalado. Trata-se do hall de entrada do galpão de serviços gerais número 09. O local possui apenas dois pavimentos, incluindo o térreo. O segundo pavimento dá acesso a salas de aula e laboratórios e atualmente só é alcançado por meio de escadas. As Figuras 2.2, 2.3 e 2.4 correspondem a fotos da área estudada:



Figura 2.2. Parede lateral esquerda da área de entrada.



Figura 2.3. Parede lateral esquerda da área de entrada, vista frontal.



Figura 2.4. Visão frontal da área de entrada.

Um fator que complicou o estudo apropriado do espaço foi a dificuldade em se obter uma planta do local, com detalhes referentes a vigas e materiais de construção utilizados. Já os eventuais obstáculos para a instalação da máquina envolvem a adaptação do ambiente existente, que não foi previamente planejado para recebê-la.

Com a finalidade de ilustrar e facilitar a visualização do local, bem como o posicionamento do elevador, um modelo foi criado utilizando-se o software *SolidWorks* (Fig's. 2.5 - 2.8):

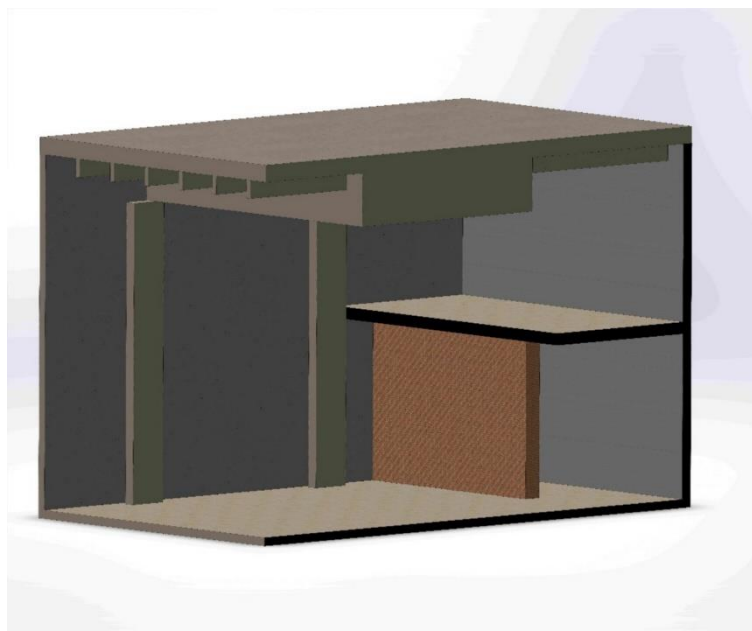


Figura 2.5. Vista isométrica 1 do modelo criado para o SG-09.

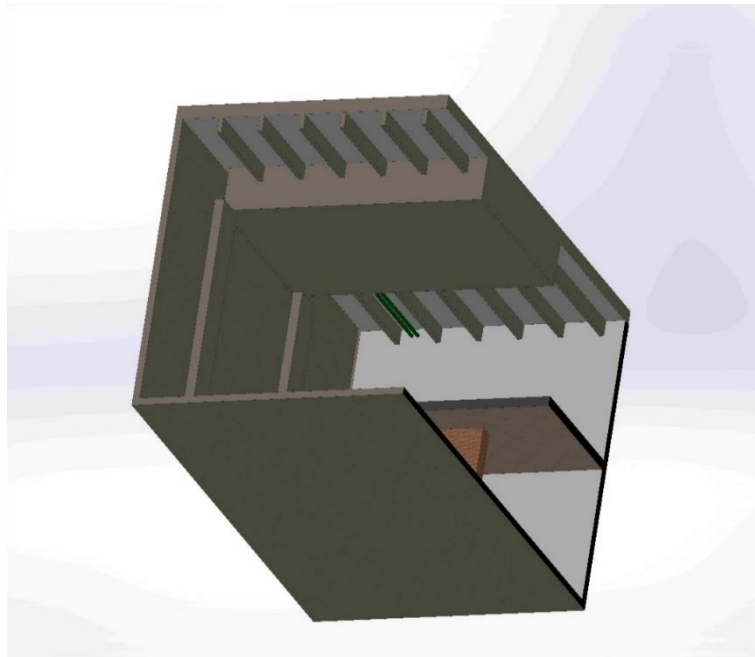


Figura 2.6. Vista isométrica 2 do modelo criado para o SG-09.

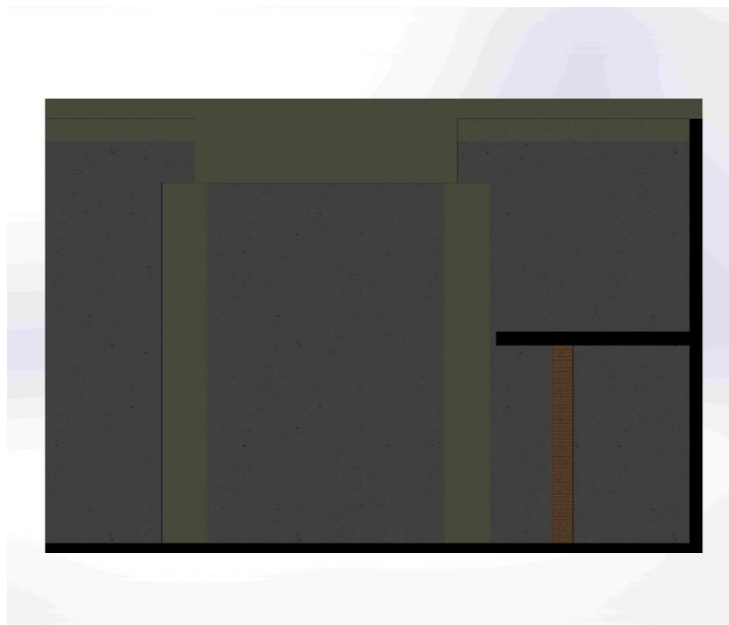


Figura 2.7. Vista lateral do modelo criado para o SG-09.

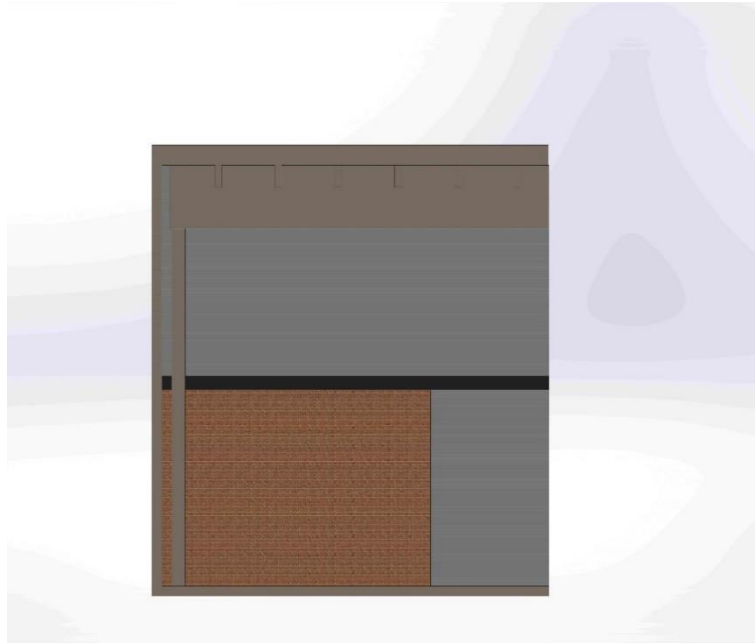


Figura 2.8. Vista frontal do modelo criado para o SG-09.

A instalação seria previamente realizada na parede branca à esquerda da entrada (Fig's. 2.2 e 2.3), mas foram identificadas tubulações de água que atravessam o teto do local, o que inviabilizaria tal posição (Fig. 2.9). Foi verificada a disposição de tais tubulações e, se estão sendo utilizadas, despejam a água no próprio teto do prédio (Fig's. 2.10 e 2.11). Caso tais canos não venham a ter utilidade, seria plausível estudar a instalação do elevador próximo à parede esquerda, como pensado inicialmente.



Figura 2.9. Teto do SG-09, com tubulação verde visível à esquerda.



Figura 2.10. Laje do SG-09, onde se encerra a tubulação.



Figura 2.11. Teto do SG-09, foto tirada da entrada do prédio.

Caso a tubulação não possa ser retirada ou desviada, uma alternativa seria modificar a localização da cabina para a direita, em frente ao centro da parede de tijolos (Fig. 2.4). Para isso, parte do mezanino teria que ser quebrada, pois invadiria o espaço da caixa do elevador.

Como pode ser visto também nas Figuras 2.9 e 2.11, o teto do local apresenta uma série de vigas que compõem a estrutura do prédio e não podem ser retiradas. Caso o elevador possua casa de máquinas, é preciso que os cabos passem entre tais vigas, em uma distância de cerca de 900 mm. Segundo a NBR207, seção 6.3.2.2, tal casa deve ser instalada sobre o espaço do elevador, com uma

altura mínima de 2 metros para movimentação. Acima do primeiro pavimento está a laje do SG-09, conforme mostrado nas fotos das Fig's. 2.12 e 2.13:



(a) Vista diagonal

(b) Vista lateral do alçapão de acesso

Figura 2.12. Laje do SG-09 e alçapão de acesso.



a) Vista posterior

b) Vista frontal

Figura 2.13. Laje do SG-09.

Caso se encontrasse à frente da parede de tijolos, a localização do elevador seria ao lado esquerdo do alçapão de subida na Figura 2.13a), lado direito na Figura 2.13b) (vista frontal). Um fator que dificultaria a instalação seria o provável deslocamento das unidades condensadoras que lá se encontram, bem como a existência do vão longitudinal entre vigas que pode ser visto na Figura 2.10.

Visto que as duas posições consideradas até aqui apresentam diversos fatores limitantes ao projeto, uma terceira opção foi analisada. O elevador se localizaria ao lado da parede branca à esquerda do prédio, porém próximo à entrada, conforme mostrado na Figura 2.14. Tal lugar foi escolhido por não haver acima de sua laje nenhum empecilho à construção da casa de máquinas. A parte central do hall ficaria ainda desobstruída, possibilitando a utilização do espaço posteriormente para qualquer outro fim. O mezanino no segundo pavimento, porém, teria de ser estendido até o elevador, conforme mostrado no modelo a seguir, que representa o hall até a sua entrada:



Figura 2.14. Terceiro local considerado para instalação do elevador.

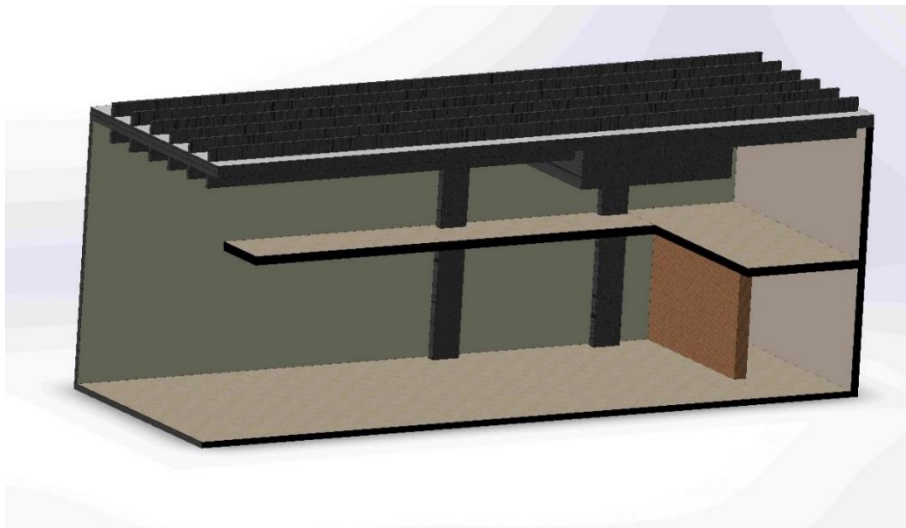


Figura 2.15. Modelo do SG-09 com mezanino estendido.

A entrada do SG-09 conta com um portão que possui em sua estrutura uma porta (Fig. 2.16). Durante a semana, tal portão se encontra aberto até o período da noite. Com movimento menor de pessoas, o portão é fechado e somente a porta é utilizada para passagem. Isso ocorre também durante os fins de semana. A questão é que não seria esteticamente agradável a caixa do elevador estar posicionada próxima à entrada do prédio, pois se localizaria logo à frente do portão.



Figura 2.16. Portão de entrada do SG-09.

Um quarto local a ser considerado é posicionar o elevador ainda rente à parede branca, porém mais longe da entrada, na parte central do hall, aproximadamente onde se encontra o banco na Figura 2.14. Com isso, o prolongamento a ser feito no mezanino seria consideravelmente menor. O espaço acima da laje também não possui nenhum obstáculo à construção da casa de máquinas.

Assim, depois da análise desses possíveis locais de instalação, é possível organizar o presente resumo com as vantagens e desvantagens de cada escolha:

Tabela 2.1. Avaliação da localização do elevador.

| Localização | Vantagens | Desvantagens |
|---|--|---|
| Alternativa 1: Próximo ao mezanino, ao lado da parede branca à esquerda da entrada (Fig. 2.3). | <ul style="list-style-type: none"> -Localização esteticamente mais agradável para instalação do elevador; -Mezanino permaneceria intacto, pois o elevador daria acesso direto ao andar de cima, sem a necessidade da construção de nenhuma passagem, tal como um corredor; | <ul style="list-style-type: none"> -Espaço vertical mais baixo devido ao grande bloco de concreto que se encontra no teto (Fig. 2.2); -Tubulações se encontram próximas ao teto do local e não podem ser modificadas; -Existência de um vão entre as vigas acima da laje, o que dificultaria a construção da casa de máquinas; |
| | | |

| | | |
|--|--|--|
| <p>Alternativa 2: Próximo ao mezanino, de frente à parede tijolos e deslocado para direita em relação à parede branca (Fig. 2.4).</p> | <p>-Assim como no caso anterior, o local seria de rápido acesso a cadeirantes, pois não haveria a necessidade da construção de nenhuma passagem extra, tal como um corredor;</p> | <p>-Espaço vertical mais baixo devido ao grande bloco de concreto que se encontra no teto (Fig. 2.2);</p> <p>-Parte do mezanino teria de ser quebrado para acesso ao próximo pavimento;</p> <p>-Existência de um vão entre as vigas acima da laje, o que dificultaria a construção da casa de máquinas;</p> <p>- Unidades condensadoras que se encontram acima da laje deveriam ser realocadas também para a construção da casa de máquinas;</p> |
| <p>Alternativa 3: Próximo à entrada do prédio, ao lado da parede branca (Fig. 2.14)</p> | <p>-Apresenta menos restrições físicas para instalação;</p> <p>-A laje localizada acima do local é livre, não apresentando vãos ou qualquer tipo de equipamento a ser realocado;</p> | <p>-Local esteticamente menos agradável para instalação do elevador, visto que se localiza logo à frente do portão de entrada;</p> <p>-Mezanino teria de ser expandido até o elevador, formando um corredor que dê acesso de fato ao segundo pavimento;</p> |
| <p>Alternativa 4: Na parte central do hall, ao lado da parede branca (Fig. 2.14, aproximadamente no espaço ocupado pelo banco)</p> | <p>-Apresenta menos restrições físicas para instalação;</p> <p>-A laje localizada acima do local é livre, não apresentando vãos ou qualquer tipo de equipamento a ser realocado;</p> | <p>--Mezanino ainda teria de ser expandido até o elevador, formando um corredor que dê acesso de fato ao segundo pavimento. Porém, tal expansão seria consideravelmente menor;</p> |

| | | |
|--|--|--|
| | - Local esteticamente mais agradável, se comparado com o posicionamento logo na entrada do prédio. | -Ocuparia o espaço central do hall de entrada; |
|--|--|--|

A partir das observações acima, a alternativa mais viável para instalação do elevador é a 4, uma vez que as suas desvantagens podem ser toleradas e são menores se comparadas com a alternativa 3. Além disso, a parte superior da laje do prédio dificulta extremamente a construção da casa de máquinas no caso das duas primeiras opções.

Ao decorrer da pesquisa, observou-se a existência da NBR16042, que indica os padrões de instalação de elevadores sem casa de máquinas. Sua viabilidade será discutida posteriormente no presente trabalho, porém é importante notar que a maioria das desvantagens das duas primeiras alternativas consideradas é a construção de tal casa, localizada na laje do prédio. Em um projeto sem casa de máquinas, todos os componentes que lá deveriam estar presentes são realocados dentro da caixa do elevador, o que garante uma grande economia e flexibilização de espaço.

Dessa forma, seguindo a NBR16042, a alternativa mais interessante passa a ser a primeira, pois não resulta na modificação do local pela construção ou demolição de nenhum outro componente no prédio. O projeto seria esteticamente mais agradável e o acesso ao segundo pavimento para transporte de carga ou locomoção de deficientes físicos seria facilitado. Um fator limitante para tal posição que será analisada posteriormente é o espaço vertical reduzido em função do bloco de concreto que se encontra no teto do local, que pode inviabilizar a instalação do elevador.

3 DECISÕES DE PROJETO

3.1 Tipo de Elevador

Para continuidade do projeto, foi preciso decidir qual configuração de elevador seria utilizada, bem como quais normas seriam seguidas. Uma vez que o projeto visa atender tanto à elevação de carga, quanto de pessoas, as normas nas quais o projeto se baseará serão as que abrangem o transporte de passageiros, uma vez que são mais rigorosas no sentido de apresentar maiores requisitos de segurança para concepção e funcionamento da máquina. Há também a necessidade de se transportar pessoas portadoras de deficiência física, uma vez que o SG-09 dispõe apenas de escada como acesso ao segundo pavimento. Portanto, a norma brasileira 13994 – Elevadores para Deficientes será também seguida.

Quanto ao sistema utilizado, a decisão inicial consistiu na escolha entre elevadores hidráulicos ou elétricos. Segundo a seção 3 da NBR267, que trata de definições dos componentes presentes no documento, o elevador hidráulico é: “elevador para o qual a energia necessária à elevação da carga é transmitida por uma bomba acionada eletricamente, que introduz um fluido hidráulico num pistão, que atua direta ou indiretamente no carro (vários motores, bombas e/ ou pistões podem ser utilizados).” Nos elevadores de ação direta, o êmbolo ou cilindro é ligado diretamente ao carro ou à armação e nos de ação indireta, tal ligação é feita por meio de cabos de suspensão. No elevador elétrico, por sua vez, um motor elétrico aciona um sistema de cabos com a finalidade de realizar a movimentação da cabina através das guias.

Segundo informações encontradas no site do grupo empresarial Up Center [16], especializado em soluções no segmento de transporte vertical, comparativamente, nos quesitos custo de instalação e manutenção, produção de ruído e sustentabilidade, os elevadores elétricos são superiores aos hidráulicos. Outra vantagem dos elevadores elétricos é a possibilidade de este ser instalado sem casa de máquinas, com todos os equipamentos alocados em sua caixa.

Portanto, visando uma maior facilidade de instalação e utilização do espaço disponível no SG-09, assim como todos os benefícios anteriormente citados, foi escolhido o que o elevador utilizado no projeto é o elétrico, cuja norma regente é a NBR207, no caso da presença de casa de máquinas, ou a NBR16042, no caso da ausência dessa.

3.2 Viabilidade da ausência da casa de máquinas

Uma casa de máquinas contém principalmente três elementos: o quadro de comando, onde as chamadas e todo o funcionamento do elevador é processado, a máquina de tração responsável pela movimentação do sistema, e o limitador de velocidade, dispositivo que, quando o elevador atinge uma velocidade predeterminada, causa a sua parada e, se necessário, aciona o freio de segurança. A NBR207, seção 6, expressa as condições de acesso, dimensionamento, disposição de componentes, ventilação, temperatura, iluminação, entre outros aspectos referentes à casa de máquinas.

No presente projeto, a casa se encontraria na laje do SG-09. A comunicação por meio de cabos seria realizada com a quebra do concreto no teto, entre as vigas longitudinais que o atravessam. Segundo a NBR207, seção 6.3.2.2, em nenhum caso o espaço livre para movimentação na casa de máquinas deverá ser inferior a 2 m. A altura não seria um fator limitante, uma vez que não há nada acima da laje onde o elevador será instalado, contanto que seja respeitada a alternativa quatro, escolhida anteriormente. Quanto à questão do acesso, a utilização do alçapão para subida à laje não vai contra a norma, porém, dificultaria bastante o transporte de material para construção da casa de máquinas.

Mesmo com a implementação da casa de máquinas possível, a análise de viabilidade do projeto sem ela é essencial, uma vez que toda sua construção seria evitada, além da quebra do concreto no teto. Dessa forma, a localização do conjunto seria muito mais flexível e interferiria muito menos na construção atual do SG-09.

Na Figura 3.1, um esquema ilustrativo de uma caixa de elevadores sem casa de máquinas é apresentado:

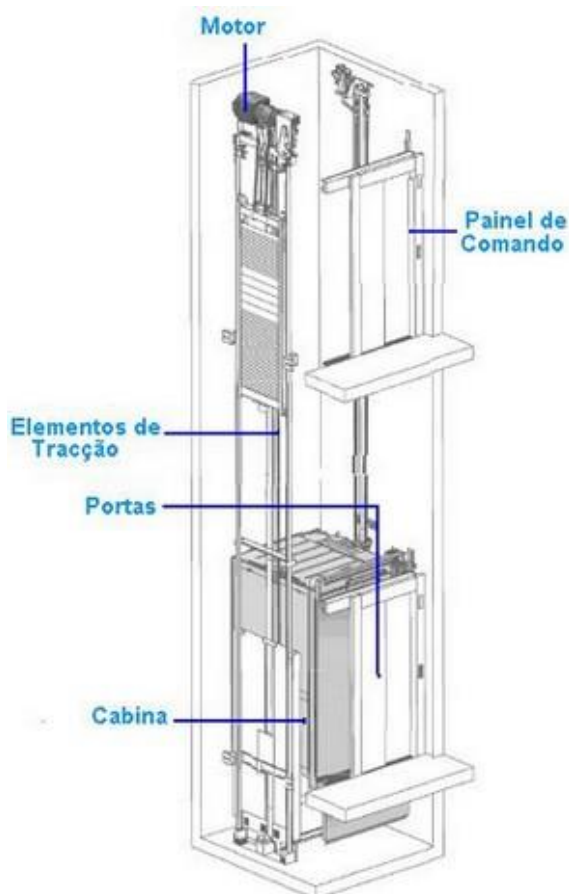


Figura 3.1. Esquema ilustrativo de elevador sem casa de máquinas. [17]

A máquina de tração e o limitador de velocidade se encontram dentro da caixa. O quadro de comando, como em muitos elevadores comerciais, seria localizado no segundo pavimento, ao lado dela, o que facilitaria acesso e manutenção. Eventual contato ou manutenção com os componentes dentro da caixa poderiam ser feitos através de uma porta de inspeção ou alçapão na cabina, ou pelo trabalho com

o operador localizado no próprio teto dela, o que é permitido pela seção 6.4.3 da NBR16042. O serviço poderia ainda ser executado pelo lado de fora da caixa, conforme a seção 6.4.6. A manutenção no poço seria realizada com o elevador travado no segundo pavimento, ou em alguma posição alta que não prejudique o serviço.

A seguir, será analisada a viabilidade de instalação do elevador nas posições consideradas previamente:

O espaço nas posições 1 e 2 possui como fator limitante o bloco de concreto que se encontra no teto, uma vez que a caixa do elevador teria de terminar imediatamente antes dele. Analisando as medidas do prédio, a distância vertical entre o chão do segundo pavimento (mezanino) e o bloco é de aproximadamente 2,2 m. Segundo a NBR16042, seção 8.1.1, a altura interna mínima da cabina deve ser de no mínimo 2,1 m. Logo, com ela parada no segundo andar, o espaço entre ela e o teto da caixa seria de apenas 0,1 m, desconsiderando-se ainda sua espessura. Dessa forma, seria inviável o posicionamento do motor ou de qualquer outro componente superior na caixa.

Uma opção considerada inicialmente foi a de elevar a cabina até uma altura mais baixa que a do segundo pavimento e liga-los através de uma rampa. Com um curso menor de elevação da cabina, haveria mais espaço livre entre ela e o teto da caixa. O ângulo de inclinação da rampa a ser instalada seria função das distâncias horizontal e vertical do elevador em relação ao mezanino, conforme observado no esquema observado na Figura 3.2 a seguir:

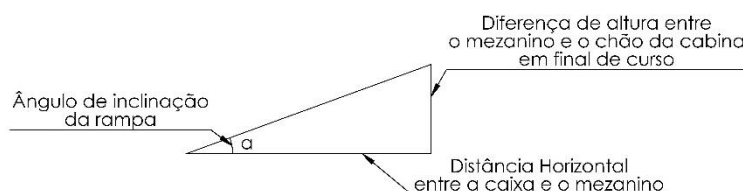


Figura 3.2. Esquema ilustrativo das variáveis que influenciam na rampa.

Dessa forma:

$$\tan a = \frac{\text{distância vertical}}{\text{distância horizontal}} \quad (1)$$

Uma vez que nas alternativas 1 e 2, a caixa se encontra muito próxima horizontalmente do mezanino, qualquer variação mínima na distância vertical originaria em ângulos muito altos de inclinação, dificultando a movimentação de cadeirantes e o transporte de carga, o que vai contra o escopo do projeto.

Resta a análise das posições 3 e 4. Uma vez que elas não se encontram abaixo do bloco de concreto, o limite vertical a ser considerado, portanto, passa a ser a altura das vigas do prédio, o que garante mais espaço para o projeto.

Segundo a NBR16042, seção 5.7.1.1b, a distância vertical livre, expressa em metros (m), entre o nível da área mais alta no topo da cabina e o nível da parte mais baixa do teto da caixa (incluindo vigamentos e componentes localizados sob o teto), situada na projeção do teto da cabina, deve ser pelo menos igual a:

$$1,0 + 0,035v^2 \quad (2)$$

Adotando-se, por exemplo, uma velocidade nominal de 1 m/s, tal espaço mínimo, de acordo com a norma, seria de 1035 mm.

A altura do chão, no primeiro pavimento, até as vigas do prédio é de aproximadamente 5960 mm. Dessa forma, considerando que o teto da caixa se encontre logo abaixo de tais vigas e subtraindo o valor encontrado de 1035 mm, a cabina do elevador poderia ser elevada até uma altura máxima de 4925 mm, desconsiderando a espessura do teto da caixa. Porém, a altura do segundo pavimento (distância entre o mezanino e as vigas no teto) é de apenas cerca de 2820 mm. Tendo a cabina uma altura de 2150 mm, a subtração dos dois valores resulta em um espaço de 670 mm, menor que os 1035 impostos pela norma.

Para estar de acordo com a norma, a cabina precisaria atingir final de curso cerca de 365 mm abaixo do mezanino. Caso isso fosse feito, o uso de uma rampa seria novamente necessário. A diferença dessa vez é que a caixa se encontraria a longas distâncias horizontais do mezanino, possibilitando menores ângulos de inclinação para tal rampa.

Como exemplo, considerando posicionar a caixa a uma distância horizontal de 6 m do mezanino e tomando uma altura conservadora (levando em conta espessuras e folgas) de 0,5 m, obtém-se, da equação 1, um ângulo de rampa de 4,75°. Tal valor é coerente com os encontrados na NBR9050 [14] – Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos. Caso a distância horizontal fosse aumentada, o ângulo seria ainda menor, dada uma mesma altura. Ainda assim, mesmo com o acesso possível aos portadores de deficiência física, o deslocamento de carga mediante tais inclinações ainda seria dificultado. Uma vez que tal transporte seria corriqueiro de acordo com as atividades que são realizadas no SG-09, optou-se por desconsiderar a implementação de qualquer tipo de rampa no projeto.

A alternativa encontrada para tornar viável a instalação de um elevador sem casa de máquinas no espaço disponível no hall de entrada seria estender a caixa, que é uma construção de alvenaria, além do teto do SG-09, criando um prolongamento acima da laje, onde não há limitações verticais que restrinjam o projeto. Tal configuração pode ser observada no modelo meramente ilustrativo contido nas Fig's. 3.3 e 3.4:

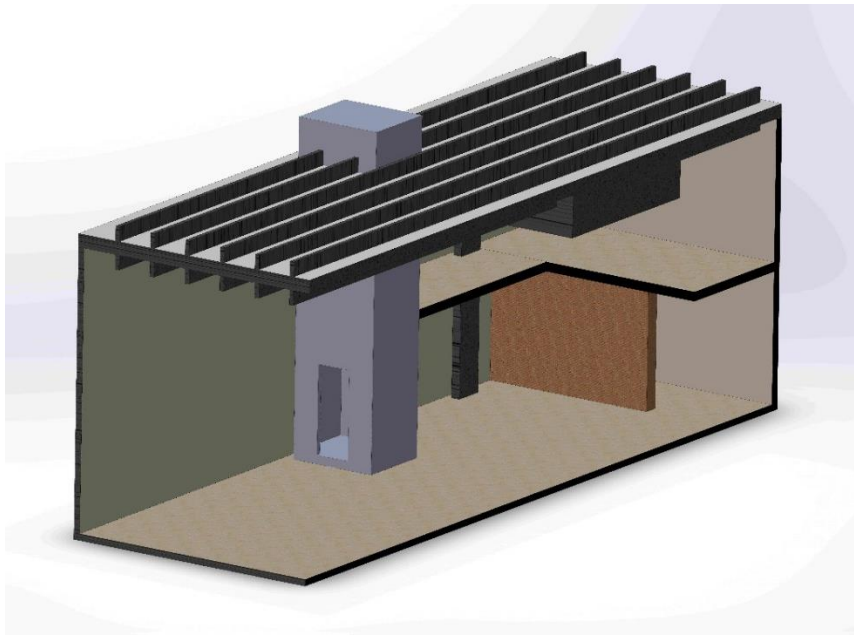


Figura 3.3. Vista isométrica frontal da configuração futura da caixa do elevador.

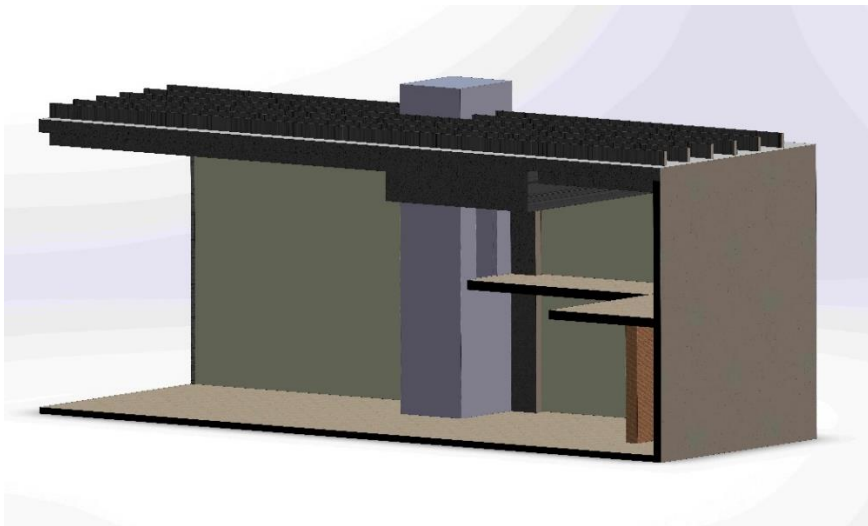


Figura 3.4. Vista isométrica traseira da configuração futura da caixa do elevador.

Dessa forma, o motor e os demais componentes superiores se encontrariam sobre a porção da caixa acima da laje do prédio, fazendo com que a cabina possa se elevar até a altura do mezanino e um prolongamento horizontal, ao invés de uma rampa, seja usado para realizar o acesso ao segundo pavimento. Uma vez que na posição 4, tal prolongamento seria consideravelmente menor que na 3, optou-se pela instalação do elevador na última alternativa considerada: junto à parede branca e na área central do hall de entrada.

Através dessa análise, conclui-se que é viável o projeto sem casa de máquinas, uma vez que a caixa termine acima no nível do teto do prédio, já além da laje. Os cabos passariam através dos intervalos longitudinais entre as vigas e a inspeção e a manutenção no motor e demais componentes que se localizem na parte superior da caixa seriam facilitadas, pois seriam feitas diretamente da laje.

4 CÁLCULO DE TRÁFEGO

A NBR5665 define uma metodologia para o cálculo de tráfego de elevadores de passageiros, na qual se estabelece condições satisfatórias de uso pela escolha adequada de parâmetros de projeto que resultam em um atendimento apropriado da demanda. O procedimento de cálculo de tráfego segundo a norma será empregado neste trabalho para garantir e confirmar que não haja transtornos aos usuários em relação ao tempo de espera e de viagem. Vale ressaltar que tal cálculo é um processo iterativo. Ele já revela parâmetros que serão discutidos posteriormente ao longo do trabalho, mas a sua presença antes das decisões do projeto se faz necessária para comprovar a viabilidade de instalação do elevador projetado.

O cálculo de tráfego é efetuado em função da população total do prédio, do número de paradas e do percurso no qual o elevador efetuará o transporte. Com estes valores de entrada são escolhidos os seguintes parâmetros:

- a) Quantidade de elevadores;
- b) Capacidade da cabine;
- c) Velocidade do elevador;
- d) Tipo de porta.

A partir disto, é calculado o tempo total de viagem que é composto pela soma dos tempos de aceleração/retardamento do elevador, tempo de abertura e fechamento das portas, tempo de entrada e saída de passageiros e ainda se aplica um adicional de 10% ao tempo para considerar eventuais atrasos no percurso. Com o tempo total de viagem calculado, verifica-se se o tempo de intervalo de tráfego está dentro dos valores admissíveis definidos para cada tipo de edifício e também é verificado se a solução adotada (capacidade da cabine, quantidade e velocidade dos elevadores) tem capacidade de tráfego suficiente para suprir a demanda.

A NBR 5665 define que a demanda é uma quantidade mínima de passageiros a ser transportada em 5 minutos, esta quantidade é calculada como sendo uma porcentagem da população total do edifício. A porcentagem da população é estabelecida com base em dados experimentais que são tabelados em função do tipo de prédio e a população total é estimada por uma relação entre o número de pessoas e a área útil do edifício. A Figura 4.1 resume o procedimento de cálculo que será explicado mais detalhadamente a seguir:

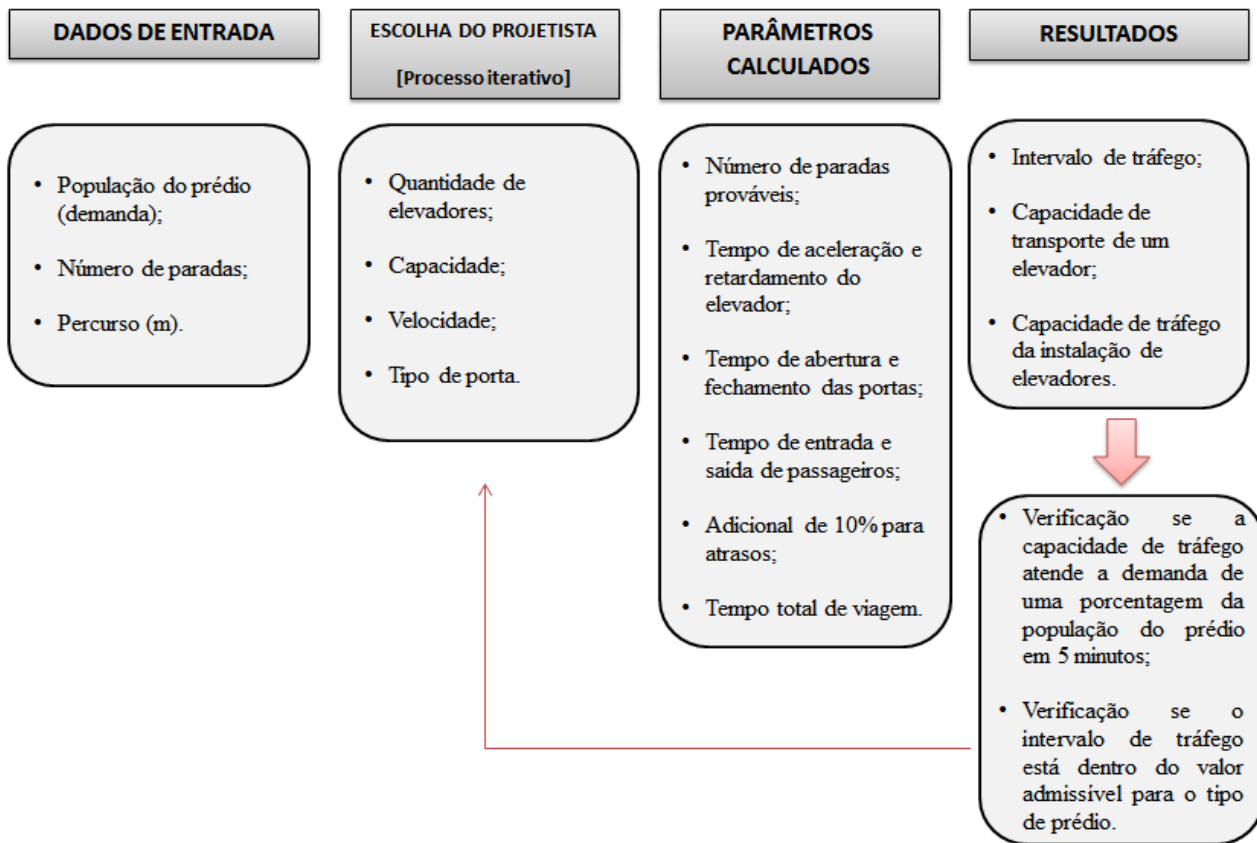


Figura 4.1 – Quadro esquemático do cálculo de tráfego.

4.1 Demanda (D)

Segundo a NBR5665, para se descobrir a demanda, primeiramente deve-se calcular a população do edifício. Ao se analisar o SG-09, nota-se que apenas uma porção dele possui um segundo pavimento de fato, que é onde se encontram salas de aula e alguns laboratórios. Em relação a escolas, a norma indica que a população deve ser calculada baseada em 1 pessoa a cada 2 m² em salas de aula. Além disso, podem ser descontados 30% da população do pavimento imediatamente acima do piso de acesso, contanto que a distância vertical máxima entre os pavimentos seja de 5 m, o que é o caso realmente.

Uma vez que não há especificações diretas para laboratórios, foram considerados para o cálculo de tráfego 12 salas, 6 no primeiro pavimento e 6 no segundo, com dimensões aproximadas de 6 metros de comprimento por 4 de largura, ou seja, com área de 24 m². Assim, com 1 pessoa a cada 2 m², tem-se em média 12 pessoas por sala, o que resulta em 72 pessoas no primeiro pavimento e 51 no segundo, já desconsiderando os 30% sugeridos.

A norma define que um elevador deve ser capaz de transportar, no caso de escolas, 20% de sua população total num intervalo de 5 minutos. Com 123 pessoas, 25 devem ter acesso à máquina nesse

período. Vale frisar que, como forma de segurança para os cálculos, o número de salas foi exagerado em relação à realidade.

4.2 Intervalo de tráfego máximo admissível (I_{max})

Definido como o tempo máximo que o passageiro deve esperar para entrar no elevador. De acordo com a tabela abaixo, o intervalo de tráfego máximo é de 80 segundos para edifícios de modo geral com apenas um elevador.

Tabela 4.1. Valores de intervalo de tráfego máximo admissível. [18]

| Número de elevadores | Finalidade do prédio | Intervalo de tráfego máximo (s) |
|----------------------|-----------------------------|---------------------------------|
| 1 | Geral (exceto apartamentos) | 80 |
| 2 | Geral (exceto apartamentos) | 60 |
| 3 | Geral (exceto apartamentos) | 50 |

4.3 Capacidade (C)

É o número máximo de passageiros que podem ser transportados na cabine. Devido às condições impostas pelo projeto, ou seja, a necessidade do elevador de transportar um usuário de cadeira de rodas, a capacidade mínima permitida deve ser de 8 passageiros, segundo a NBR16042. Esta é a capacidade escolhida, devido ao tamanho do prédio e à carga de transporte especificada.

4.4 Número de paradas (P_{ar})

É a quantidade de pavimentos do edifício incluindo o térreo. No caso, existem 2 paradas.

4.5 Paradas prováveis (N)

Dada em função da capacidade da cabine (C) e da quantidade de paradas (P_{ar}) de acordo com a seguinte equação:

$$N = P_{ar} - \left(\frac{P_{ar} - 2}{P_{ar} - 1} \right)^C \quad (3)$$

Tal valor é igual ao próprio número de paradas P, ou seja, 2.

4.6 Percurso (S)

É a distância percorrida pelo elevador do piso da primeira parada ao piso da última parada. No SG-09, a distância total de subida até o pavimento superior é de 3,15 m.

4.7 Velocidade (V)

A velocidade é escolhida em função do percurso, conforme mostra a tabela abaixo:

Tabela 4.2 – Orientação para definição da velocidade de elevadores em edifícios não-residenciais. [18]

| Percurso | Velocidade (m/s) |
|------------|------------------|
| Até 17 | De 0,50 a 1,00 |
| De 18 a 29 | De 1,00 a 1,75 |
| De 30 a 44 | De 1,75 a 2,50 |

Como mostrado posteriormente, a velocidade escolhida para o projeto é 0,63 m/s, a mínima disponível pelo motor selecionado.

4.8 Tempo para percorrer o percurso total (T_1)

Tempo em segundos gasto para percorrer o percurso (ida e volta):

$$T_1 = \frac{2S}{V} \quad (4)$$

Dessa forma, o tempo necessário para percorrer o percurso total é de 10 s.

4.9 Tempo total de aceleração e retardamento (T_2)

Considera o tempo de aceleração e retardamento em cada parada (T_{a-r}) que é dado pela tabela abaixo, apropriada para edifícios não residenciais:

Tabela 4.3 – Tempo de aceleração e retardamento em cada parada, (T_{a-r}). [18]

| Velocidade (m/s) | Tempo por parada (s) |
|------------------|----------------------|
| 0,75 | 2,5 |
| 1,00 | 3,0 |
| 1,25 | 3,0 |

O valor para T_2 é dado pela seguinte fórmula:

$$T_2 = \frac{N (T_{a-r})}{2} \quad (5)$$

Usando-se a velocidade mais próxima à real, o seja, 0,75 m/s, obtém-se um valor de T_2 igual a 2,5 s.

4.10 Tempo total de abertura e fechamento das portas (T_3)

É o produto entre o número de paradas prováveis (N) e o tempo de abertura e fechamento das portas (T_{portas}) que pode ser verificado pela tabela abaixo.

$$T_3 = N (T_{portas}) \quad (6)$$

Tabela 4.4 – Tempo de abertura das portas. [18]

| Tipo de porta | Tempo por parada (s) |
|-----------------------|----------------------|
| Abertura central (AC) | 3,9 |
| Abertura lateral (AL) | 5,5 |
| Eixo vertical (EV) | 6,0 |

Como discutido posteriormente, o modo de abertura das portas será lateral. Portanto, o valor de T_3 é de 11 s.

4.11 Tempo total de entrada e saída de passageiros (T_4)

Resulta da multiplicação entre o tempo de entrada e saída de cada passageiro ($T_{passageiro}$) e a capacidade da cabine (C):

$$T_4 = C (T_{passageiro}) \quad (7)$$

Tabela 4.5 – Tempo de entrada e saída de passageiros. [18]

| Abertura da porta | Tempo por passageiro |
|-------------------------|----------------------|
| Menor que 1,10 m | 2,4 |
| Maior ou igual a 1,10 m | 2,0 |

A porta utilizada possui 800 mm de largura. Dessa forma, com capacidade para 8 pessoas, obtém-se um tempo de entrada e saída de 19,2 s.

4.12 Tempo total de viagem (T)

É a soma dos tempos calculados mais um adicional de 10% para considerar possíveis atrasos.

$$T = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + 0,1(T_3 + T_4) \quad (8)$$

Somando os tempos previamente calculados, obtêm-se um tempo total de viagem de 45,72 s.

4.13 Intervalo de tráfego (I)

Resultado da divisão entre o tempo total de viagem e o número de elevadores (n). Como apenas um elevador será utilizado, tal número será equivalente ao tempo total de viagem, ou seja, 45,72 s.

4.14 Capacidade de transporte (C_t)

É a quantidade de passageiros transportada em 5 minutos (300 segundos):

$$C_t = \frac{300 C}{T} \quad (9)$$

A capacidade de transporte encontrada é de 52 passageiros a cada 5 minutos.

4.15 Avaliação da solução

Através dos valores encontrados ao longo do cálculo, é possível notar que o tamanho e a capacidade do elevador projetado somente são justificados pela necessidade de se transportar um usuário de cadeira de rodas ou uma carga mínima de 500 kg. Satisfeitos esses critérios, o sistema é capaz de suprir cerca de 2 vezes a demanda calculada, não oferecendo riscos longos de espera aos passageiros.

Para avaliar melhor os parâmetros encontrados, será feito o cálculo do grau de serviço segundo as recomendações do Manual de Transporte Vertical da Atlas Schindler [18]. O grau de serviço avalia a solução encontrada tendo como referência o intervalo de espera do elevador pelo passageiro e o tempo gasto na viagem:

$$K = \frac{T}{4} + \frac{I}{2} \quad (10)$$

O grau de serviço calculado segundo a fórmula acima foi de 34,29, o que indica um grau de serviço considerado excelente de acordo com a tabela abaixo:

Tabela 4.6 – Grau de serviço dos elevadores. [18]

| | | | | |
|-----------------------|-----------|-----|---------|-------------|
| GRAU DE SERVIÇO = K = | Excelente | Bom | Regular | Inexistente |
| | 45 | 55 | 65 | |

5 PROJETO E SELEÇÃO

Neste capítulo são apresentadas as decisões tomadas ao longo da etapa de projeto, o que inclui concepção, design e seleção dos diferentes componentes envolvidos no sistema de elevação. Para demonstrar embasamento com as normas, elas são citadas sempre que forem pertinentes, com especificações das respectivas seções que abrangem o tema discutido.

5.1 SISTEMA DE ELEVAÇÃO

Existem inúmeras disposições para o sistema de cabos e polias em um elevador e elas alteram diversos fatores de operação da máquina, como velocidade do motor e carga a ser tracionada. Em sistemas 2:1, por exemplo, a velocidade do carro é reduzida pela metade, assim como as solicitações nos cabos de tração. A recomendação é buscar uma configuração o mais simples possível, uma vez que reduzir o número de polias defletoras e polias de suspensão aumenta a longevidade e a eficiência dos cabos [19]. A Figura 5.1 explicita os principais tipos de sistemas utilizados, descritos na tabela 5.1:

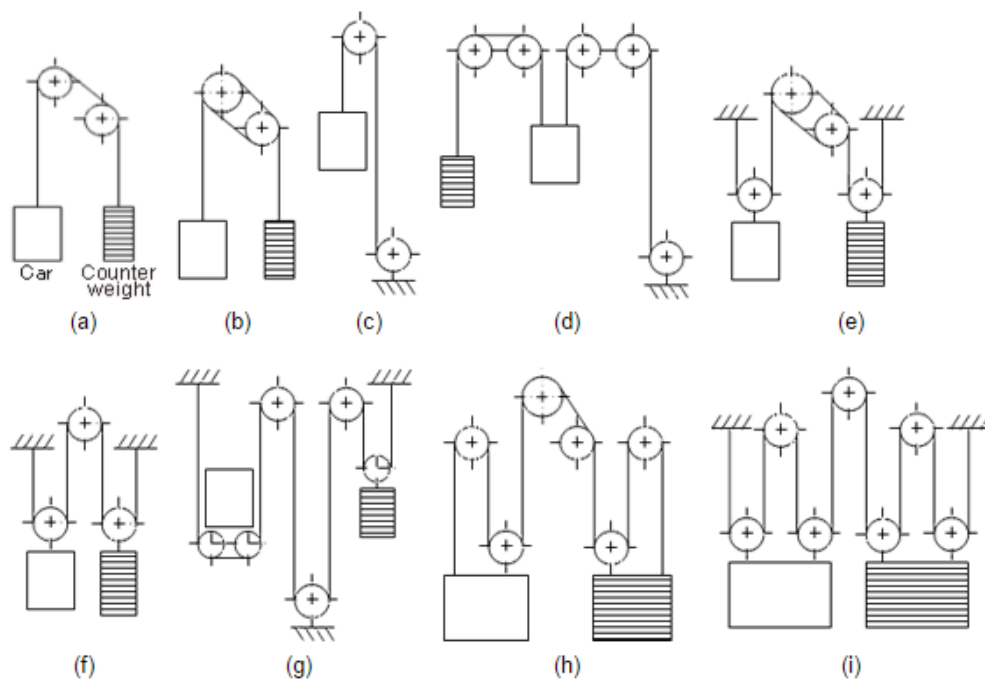


Figura 5.1. Configurações de elevação para elevadores. [19]

Tabela 5.1. Características de cada configuração de sustentação do elevador.

| Esquema | Sistema | Configuração | Uso principal |
|---------|---------|-----------------------|--|
| (a) | 1:1 | “Single Wrap” | Elevadores de média e baixa velocidades |
| (b) | 1:1 | “Double Wrap” | Elevadores de alta velocidade |
| (c) | 1:1 | Enrolamento em tambor | Elevadores residenciais |
| (d) | 1:1 | Enrolamento em tambor | Elevadores pequenos, de baixa velocidade |
| (e) | 2:1 | “Double Wrap” | Elevadores de alta velocidade |
| (f) | 2:1 | “Single Wrap” | Monta-cargas |
| (g) | 2:1 | “Single Wrap” | Elevadores sem casa de máquinas |
| (h) | 3:1 | “Single Wrap” | Monta-cargas de grande porte |
| (i) | 4:1 | “Single Wrap” | Monta-cargas de grande porte |

Mesmo com a configuração (g) sendo comum para elevadores sem casa de máquinas, optou-se pela utilização da configuração (a), com apenas a polia motora e uma polia de desvio. Tal sistema foi escolhido devido à sua simplicidade, aliada ao fato do elevador em questão possuir um curto curso de movimentação, bem como operar a baixas velocidades. Como será visto nas próximas seções, a escolha da disposição de cabos e polias terá grande impacto na seleção do motor e dos cabos no projeto.

Uma vez selecionado o sistema de elevação, é apresentado na Figura 5.2 o diagrama de corpo livre tanto da cabina quanto do contrapeso, onde:

- T é a tração exercida no cabo de aço;

- m_1 é a massa da cabina;
- m_2 é a massa do contrapeso;
- g é a aceleração da gravidade.

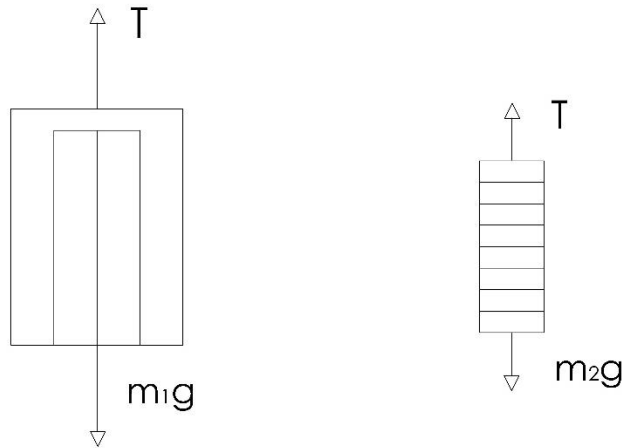


Figura 5.2. Diagrama de corpo livre da cabina e do contrapeso.

5.2 CABINA

5.2.1 Dimensões

De acordo com as especificações iniciais do projeto, a cabina deve transportar um mínimo de 500 kg ou 6 pessoas. Um dos objetivos do elevador é que ele possa ser utilizado por indivíduos que se encontram em cadeiras de rodas. Segundo a NBR13994, uma cabina de elevador para cadeirantes pode permitir ou não o giro da cadeira, tendo suas dimensões alteradas de acordo com essa possibilidade. Em virtude da disposição do local no qual será instalado, o projeto inicial do elevador possuirá uma cabina com duas portas, fazendo com que a entrada nela ocorra por uma extremidade da caixa e a saída pela outra. Dessa forma, os cadeirantes não precisarão realizar nenhum movimento de giro em suas respectivas cadeiras, reduzindo as dimensões mínimas permitidas. Outra vantagem é que o transporte de carga também permaneceria em um mesmo sentido. Seguindo a norma, seção 5.1.7.1, as dimensões permitidas são:

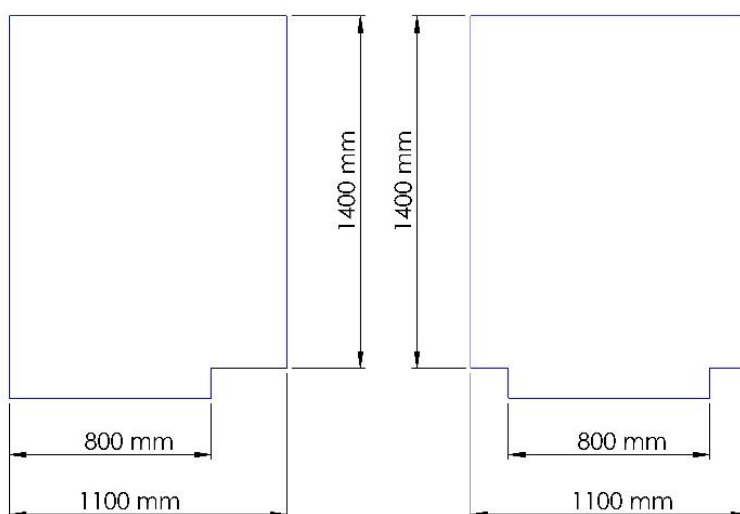


Figura 5.3. Arranjos sem permitir o giro da cadeira de rodas. [13]

Tabela 5.2. Arranjos-padrão de cabina para transporte de pessoa portadora de deficiência [13].

| Carga útil kg | Largura mínima da cabina mm | Profundidade interna mínima da cabina mm | Abertura lateral mínima da porta mm | Abertura central mínima da porta mm |
|--------------------------|--|---|--|--|
| 600 (8 passageiros) | 1100 | 1400 | 800 | 800 |
| 975 (13 passageiros) | 1725 | 1300 | 900 | - |
| 1200 (16 passageiros) | 2100 | 1300 | 1100 | 1100 |

Já segundo a NBR16042, seção 8.2.2, são mostradas as tabelas de dimensões a serem seguidas, das quais foram extraídas as seguintes informações:

Tabela 5.3. Área máxima da cabina. [11]

| Carga nominal | Área máxima da cabina |
|----------------------|------------------------------|
| kg | m² |
| 525 | 1,45 |
| 600 | 1,60 |
| 630 | 1,66 |

Tabela 5.4. Área mínima da cabina. [11]

| Número de passageiros | Área útil mínima |
|------------------------------|-------------------------|
| | m² |
| 7 | 1,31 |
| 8 | 1,45 |
| 9 | 1,59 |

Com base nas tabelas acima, foi desenvolvido um modelo de cabina utilizando-se o software *SolidWorks*. Tal modelo é composto de diversas partes, as quais serão explicadas nas seções a seguir:

5.2.2 Estrutura principal

É formada por tubos de aço estrutural AISI 1045. Bastante utilizado na fabricação de peças para indústria mecânica em geral, tal material apresenta boa resistência mecânica, principalmente se comparado aos aços com baixo teor de carbono [20]. Além disso, foi constatado que apresenta fácil disponibilidade no mercado e baixo preço, conforme será apresentado posteriormente no orçamento do projeto. Os tubos selecionados apresentam perfil quadrado de 1 polegada com 3 mm de parede. A Figura 5.4 mostra a primeira estrutura principal considerada:

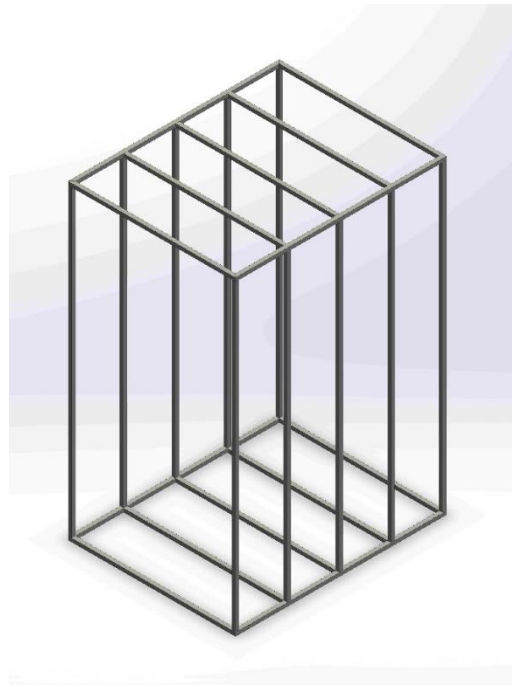


Figura 5.4. Primeira estrutura da cabina considerada.

Segundo a NBR16042, a cabina deve ter resistência mecânica suficiente para suportar as forças aplicadas durante o funcionamento normal do elevador. Dessa forma, optou-se por modificar a estrutura. A nova, além de mais leve que a anterior, passa a apresentar configuração treliçada tanto no piso e no teto, quanto nas paredes laterais. As demais paredes não apresentam treliças pois nelas serão instaladas as portas do elevador. Uma simulação da resistência mecânica da estrutura principal foi realizada utilizando o software *Abaqus CAE* e é apresentada no Anexo 1 do presente trabalho, bem como algumas considerações quanto aos esforços dinâmicos exercidos sobre o elevador como um todo. A Figura 5.5 retrata a estrutura projetada:



Figura 5.5. Estrutura escolhida para a cabina.

5.2.3 Painéis: piso, teto e paredes

À estrutura principal serão fixados painéis de aço inoxidável liga 430, material largamente usado em elevadores [21]. Tais painéis servirão como piso, teto e paredes para a cabina. Eles possuem 2 mm de espessura e suas dimensões variam conforme o papel que desempenham. Foi escolhida esta liga específica por se tratar de uma liga ferrítica com alto limite de escoamento, se comparado com as suas outras ligas em geral. A Figura 5.6 mostra a configuração dos painéis de aço inox utilizados no elevador:

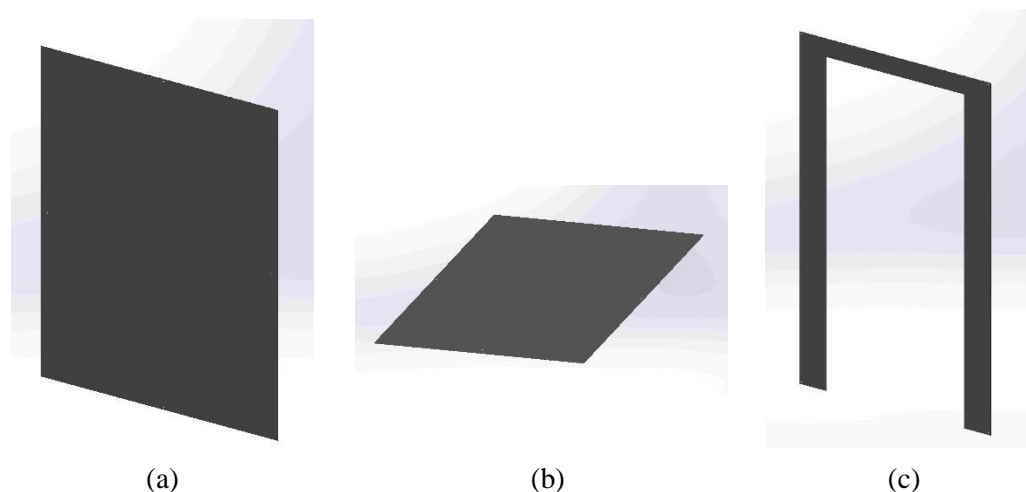


Figura 5.6. Painéis: (a) Paredes laterais, (b) Piso e teto, (c) Paredes frontais e traseiras.

Segundo a NBR16042, há certas condições que devem ser atendidas no que se diz respeito à resistência mecânica das paredes e do piso do elevador. No Anexo 1, estão presentes algumas simulações que corroboram a integridade da cabina quando esta está sujeita a esforços mais críticos.

5.2.4 Fixação dos painéis à estrutura principal

Tal fixação ocorre por meio de suportes soldados à própria estrutura. Consistem de chapas de aço AISI 1045 com 2 mm de espessura e furos pelos quais passarão parafusos. São dois tipos distintos de suporte: 32 suportes dobrados e 8 suportes não dobrados. Ambos os suportes podem ser observados na Figura 5.7:

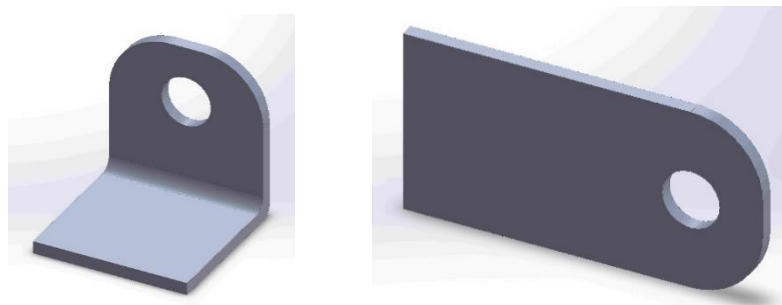


Figura 5.7. Suportes da cabina.

Uma vez que os painéis possuem tamanho considerável, sua montagem se tornaria inviável para uma só pessoa caso fossem utilizadas porcas tradicionais, uma vez que seria necessário alguém do outro lado do painel para posicionar as últimas porcas a serem usadas. Dessa forma, optou-se pelo uso de porcas rebite, o que resolveria essa questão, uma vez que as porcas seriam previamente fixadas.

Será apresentada uma breve análise das solicitações sofridas pelo piso a fim de se selecionar os parafusos utilizados no projeto. Tal parte do elevador foi escolhida por sofrer os maiores esforços, se comparada ao teto ou às paredes. Para facilitar tal análise, considera-se o piso como uma chapa quadrada. No seu centro é aplicada uma força referente à carga nominal do elevador, ou seja, 630 kg, assim como ilustrado pela Figura 5.8:

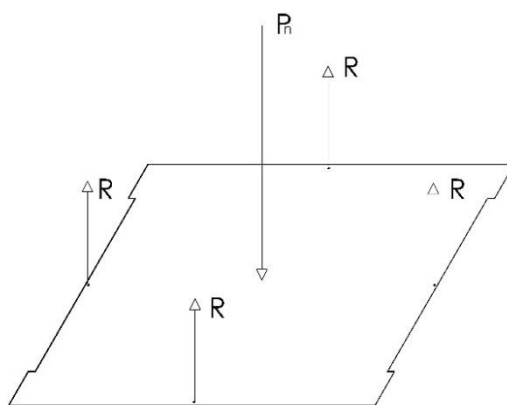


Figura 5.8. Diagrama de corpo livre do piso da cabina.

Devido à simetria da chapa (sendo essa quadrada), todas as 4 reações R no apoio serão iguais:

$$P_n = m * g_n = 630 * 9,81 = 6180,3 \text{ N} \quad (11)$$

$$\Sigma F = 0 \quad (12)$$

$$R = \frac{P_n}{4} = \frac{6180,3}{4} = 1545,08 \approx 1545 \text{ N} \quad (13)$$

Para calcular as tensões nos parafusos, escolheu-se primeiramente uns que possuíssem 6 mm de diâmetro. Segundo o livro Elementos de Máquinas de Shigley [22], a área de tensão de tração especificada para esse parafuso é de 20,1 mm². Dessa forma:

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{R}{A} = \frac{1545}{20,1 * 10^{-6}} = 76,87 \text{ MPa} \quad (14)$$

Ainda segundo o Shigley, parafusos da classe M6 com categoria de propriedade 4,6 possuem resistência mínima de prova de 225 MPa, valor aproximadamente 3 vezes maior que a tensão encontrada. Vale ainda ressaltar que o piso não é apoiado apenas nos suportes com parafusos, mas também nos próprios tubos da estrutura, o que diminui ainda mais os esforços trativos nos parafusos.

Dessa forma, são utilizados parafusos da série M6 de cabeça escareada a fim de que fiquem no mesmo nível dos painéis. Além da questão estética, isso impede que os parafusos que fixam o piso atrapalhem a movimentação de cadeirantes ou carrinhos com carga, por exemplo. A Figura 5.9 exemplifica os parafusos e as porcas rebite usados:



Figura 5.9. (a) Parafuso M6 de cabeça escareada. [23] (b) Porca rebite M6. [24]

5.2.5 Montagem da cabina

Tal processo é realizado primariamente com a estrutura fora da caixa do elevador, para uma posterior alocação em seu interior. O primeiro passo é acoplar as porcas rebites em todos os suportes da estrutura. Após isso, piso e teto devem ser posicionados e parafusados primeiramente. Dando continuidade, as paredes laterais devem ser introduzidas e parafusadas e, por fim, os painéis frontal e posterior, conforme mostrado na Figura 5.10:

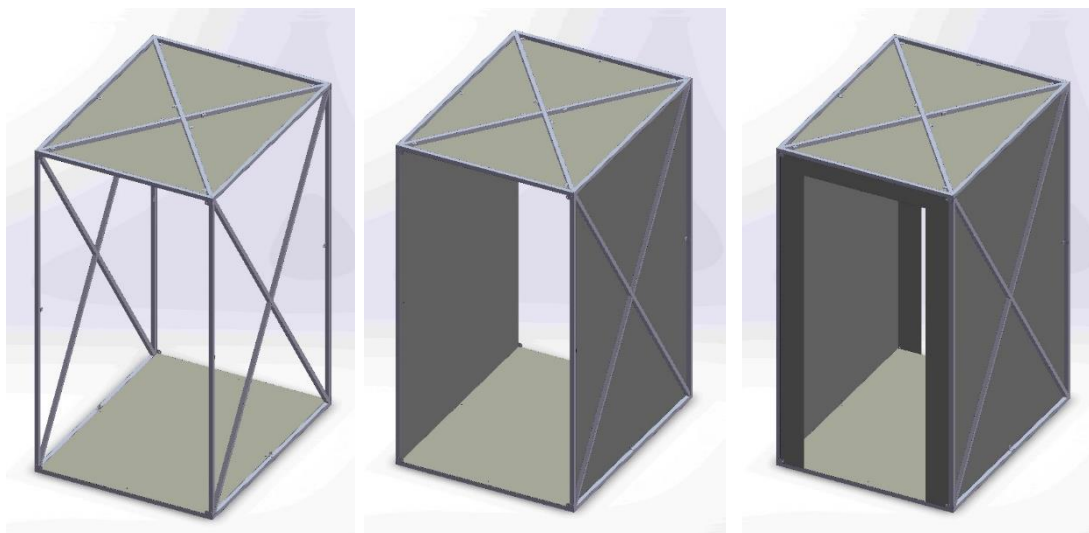


Figura 5.10. Ordem de montagem da cabina.

O modelo mostrado apresenta 1461,4 mm de profundidade e 1106,6 mm de largura, com uma largura de porta de 800 mm. Dessa forma, sua área útil é de aproximadamente 1,61 m². Tais valores estão de acordo com as tabelas explicitadas anteriormente, desde que a carga nominal considerada para

o elevador seja de 630 kg. Segundo a seção 8.1.1 da NBR16042, a altura mínima da cabina deve ser de 2,10 m e será adotada no projeto.

5.2.6 Área superior da cabina

Uma vez decidida a configuração inicial da cabina, cabe projetar como será sua área superior. Tal região deve não só abrigar os motores operadores de porta, como o meio pelo qual a própria cabina se comunica com os cabos de aço que tracionam o elevador.

Dessa forma, acima das barras que compõe o teto da cabina, é fixada outra chapa de aço AISI 1045, com 4,15 mm de espessura. Porém, esta chapa possui soldada em seu centro uma caixa, cujas paredes, por sua vez, também são soldadas entre si e possuem 8 mm. É nela onde são posicionados os tirantes que se unem aos cabos de aço, assim como mostrado na Figura 5.11:

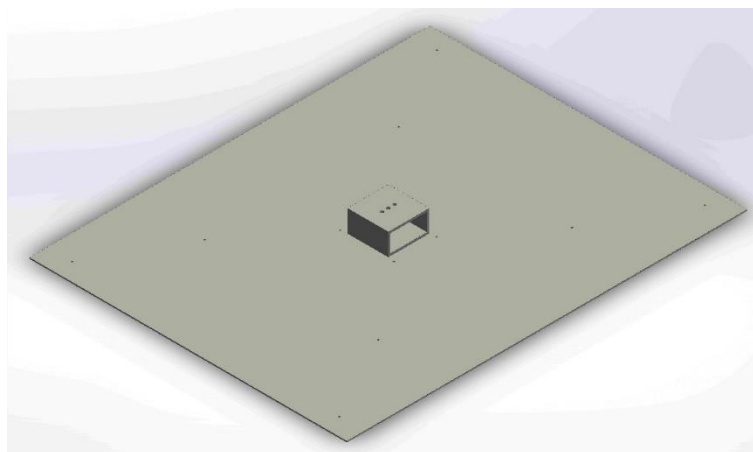


Figura 5.11. Chapa superior da cabina.

A chapa conta com 12 furos de 6 mm para fixação na estrutura principal. Tal fixação ocorre também por meio de uma solda que se compreende em uma área de 150 mm por 150 mm e é feita nos pontos de contato entre a região central da chapa e as barras encontradas no teto da estrutura. Além de ser suporte para os tirantes, tal chapa ainda serve de base para aparafusar os motores que irão operar as portas da cabina. A Figura 5.12 a apresenta já com sua chapa superior instalada:

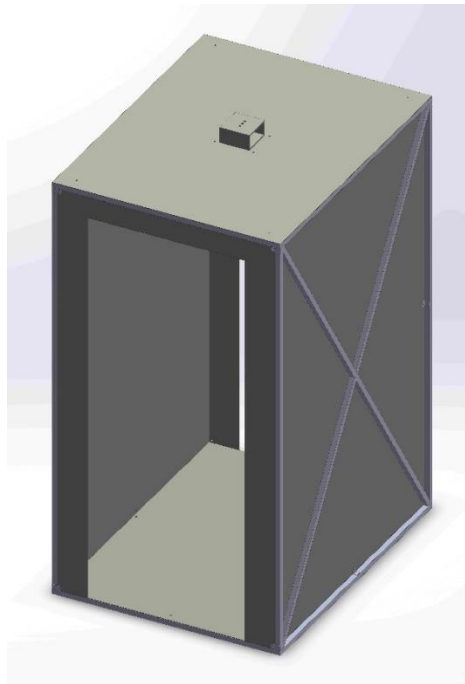


Figura 5.12. Cabina com chapa superior.

No Anexo 1 deste trabalho, é possível encontrar uma simulação que retrata a resposta da chapa superior aos esforços trativos aos quais ela é submetida durante o funcionamento do elevador. Vale frisar que foram testadas diversas espessuras de chapa até se chegar à atual, que não sofre escoamento, assim como mostrado no anexo citado.

5.3 OPERADORES DE PORTA

Possuem como função não só abrir e fechar as portas, mas também garantir a segurança dos passageiros, travando as mesmas instantaneamente quando algum movimento for detectado pelos sensores nelas instalados. Comportam um motor elétrico e um inversor de frequência acoplados a um bloco que se instala na parte superior das cabinas. A função do motor é gerar a força necessária não só para as portas da própria cabina como também para as de pavimento. Já o papel do inversor de frequência é alimentar o motor, controlando aceleração, velocidade normal e desaceleração através da variação de tensão e frequência no circuito.

Existem diversas configurações de movimentação de porta para elevadores. Aberturas centrais e laterais para esquerda ou direita, com movimentação de 2, 3, 4 ou até mesmo 6 portas (também chamadas de folhas). Para o projeto em questão, cujo vão livre de passagem da cabina é de 800 mm, 2 folhas são o suficiente para garantir uma abertura eficiente das portas. Resta determinar se tal abertura será central ou lateral. Segundo o Manual de Transporte Vertical de Atlas Schindler, a movimentação lateral permite obter menores dimensões para as medidas da frente da caixa, sendo essa solução interessante para elevadores de pequeno porte. A abertura central é ligeiramente mais rápida que a lateral, mas tal fato só influenciaria realmente em elevadores com maiores demandas de tráfego.

Portanto, é utilizada a abertura lateral com 2 folhas tanto na parte frontal do elevador, quanto na traseira. A Figura 5.13 mostra uma vista superior de um elevador com essas configurações:

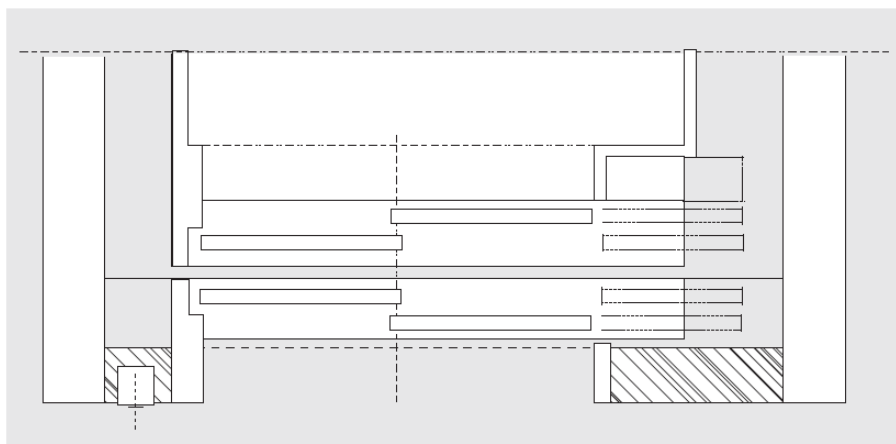


Figura 5.13. Vista superior de um elevador com abertura lateral de duas folhas. [18]

Para seleção do operador de portas, diversos catálogos foram consultados. Muitos deles apresentavam modelos versáteis que contemplavam tanto elevadores de menor porte quanto maiores. Os escolhidos foram os operadores Piuma PLUS 300 da companhia Wittur, série 3201 e tipo 12/R e 12/L. Possuem intervalo de abertura de 600 mm a 900 mm, contemplando os 800 mm necessários para o projeto. O tipo 12/L funciona com abertura lateral de 2 folhas para esquerda e o 12/R com abertura lateral de 2 folhas para a direita. Foram escolhidos 2 operadores distintos por eles estarem em extremidades opostas da cabina, um na parte frontal e outro na traseira. Dessa forma, ambos os conjuntos de portas se abrirão na mesma direção, ou seja, para a esquerda se observados a partir da entrada do SG-09.

Tal modelo apresenta dimensões e pesos reduzidos em relação aos outros operadores da marca Wittur, além de baixo consumo de energia. Seu tempo de fechamento é regulado conforme as normas para portadores de necessidades especiais. Cada operador possui peso efetivo de 21,6 kg e é capaz de movimentar uma massa de 130 kg, bem superior ao conjunto de portas projetado, que possui 36 kg. A Figura 5.14 mostra o modelo selecionado:

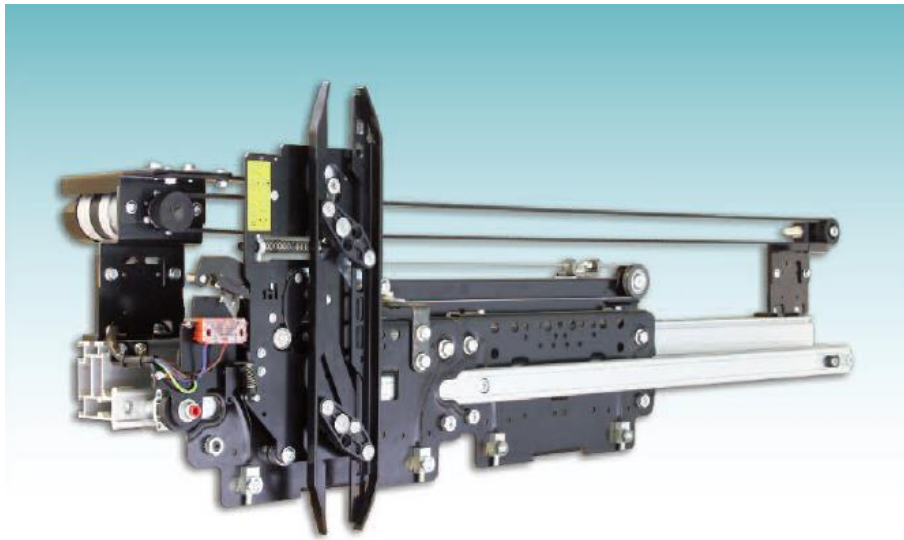


Figura 5.14. Operador de porta da cabina. [25]

A parte superior das portas é ligada ao operador por meio de parafusos e a parte inferior das mesmas são conectadas à soleira, que possui trilhos que guiam seus movimentos. As portas do elevador em questão são formadas por chapas de 2 mm, dobradas nos lados e em suas extremidades superior e inferior, a fim de se conectar com o operador e com os trilhos, respectivamente. Cada folha possui uma massa de 18 kg. A Figura 5.15 mostra uma das folhas da porta do elevador e a Figura 5.16 retrata a cabina com as portas já instaladas:

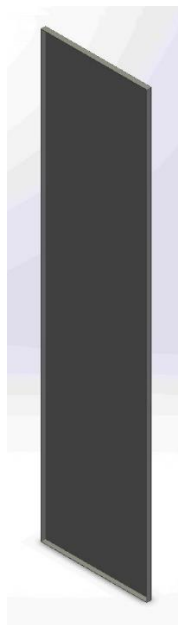


Figura 5.15. Folha que compõe porta a cabina.

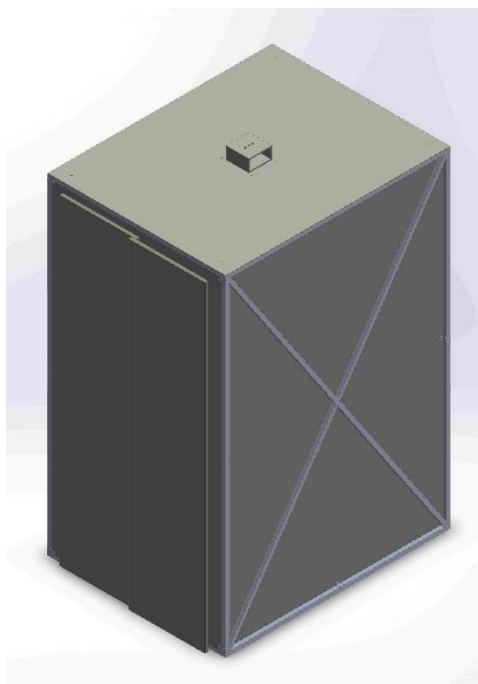


Figura 5.16. Elevador com portas posicionadas.

5.4 SOLEIRA E PROTETOR DE SOLEIRA

A soleira é um perfil de metal que serve de guia para as corrediças das folhas de porta. Cada porta de pavimento e de cabina possui uma, que fica localizada na região inferior do vão da porta. Segundo a NBR16042, as soleiras devem possuir resistência o suficiente para suportar a passagem de cargas a serem introduzidas na cabina. Esses componentes costumam ser padronizados e vendidos de acordo com o perfil de porta e de cabina que cada empresa desenvolve. Como toda a cabina, inclusive suas portas, foram projetadas exclusivamente para o elevador em questão, a soleira também foi desenvolvida propriamente para este projeto. Ela é feita de aço AISI 1045 e seu encaixe na cabina é feito por meio de parafusos em suportes soldados à estrutura principal, na parte inferior. Ao final do trabalho, pode-se encontrar os desenhos técnicos desses componentes. A Figura 5.17 mostra a vista isométrica das soleiras projetadas:

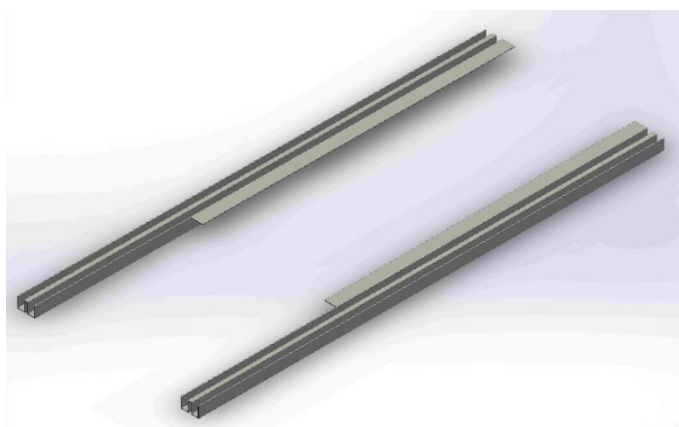


Figura 5.17. Vista isométrica das soleiras.

Ainda segundo a norma, as soleiras da plataforma devem ser providas com um protetor estendendo-se em toda a largura da entrada de pavimento que faça face. Trata-se de um acessório obrigatório que garante a proteção para as pessoas e objetos contra possíveis quedas no poço, garantindo principalmente a segurança dos passageiros quando, por qualquer motivo, a cabina para desnivelada em relação ao piso do pavimento [26]. Sua seção vertical deve estender-se para baixo por meio de uma dobra cujo ângulo com o plano horizontal deve ser de no mínimo 60° . A projeção desta dobra no plano horizontal deve ser de no mínimo 20 mm. A Figura 5.18 retrata o protetor de soleira projetado e a Figura 5.19 mostra-o já instalado na cabina:

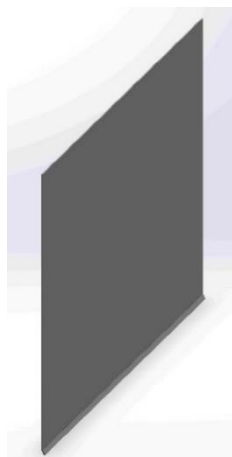


Figura 5.18. Vista isométrica do protetor de soleira.

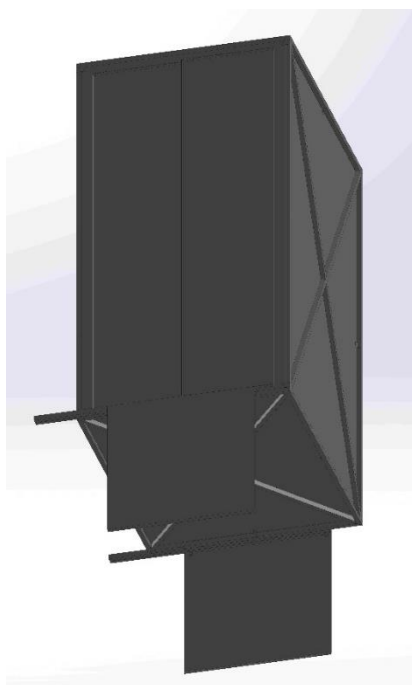


Figura 5.19. Cabina com protetor de soleira acoplado.

5.5 MÁQUINA DE TRAÇÃO

5.5.1 Tipos de acionamento

Segundo o Manual de Transporte Vertical em Edifícios da Atlas Schindler, é tarefa da máquina de tração imprimir o movimento de subida e descida do carro e do contrapeso. Ela imprime a rotação necessária à polia para garantir a velocidade especificada para o elevador.

Para o caso de elevadores elétricos, seus motores podem ser acionados através de corrente alternada (CA) ou corrente contínua (CC), sendo a energia fornecida pela rede elétrica do edifício. A Figura 5.20 mostra gráficos comparativos de velocidade em função do tempo, que refletem o esquema de funcionamento de diferentes tipos de motores, sendo os três primeiros de corrente alternada e o último de corrente contínua:

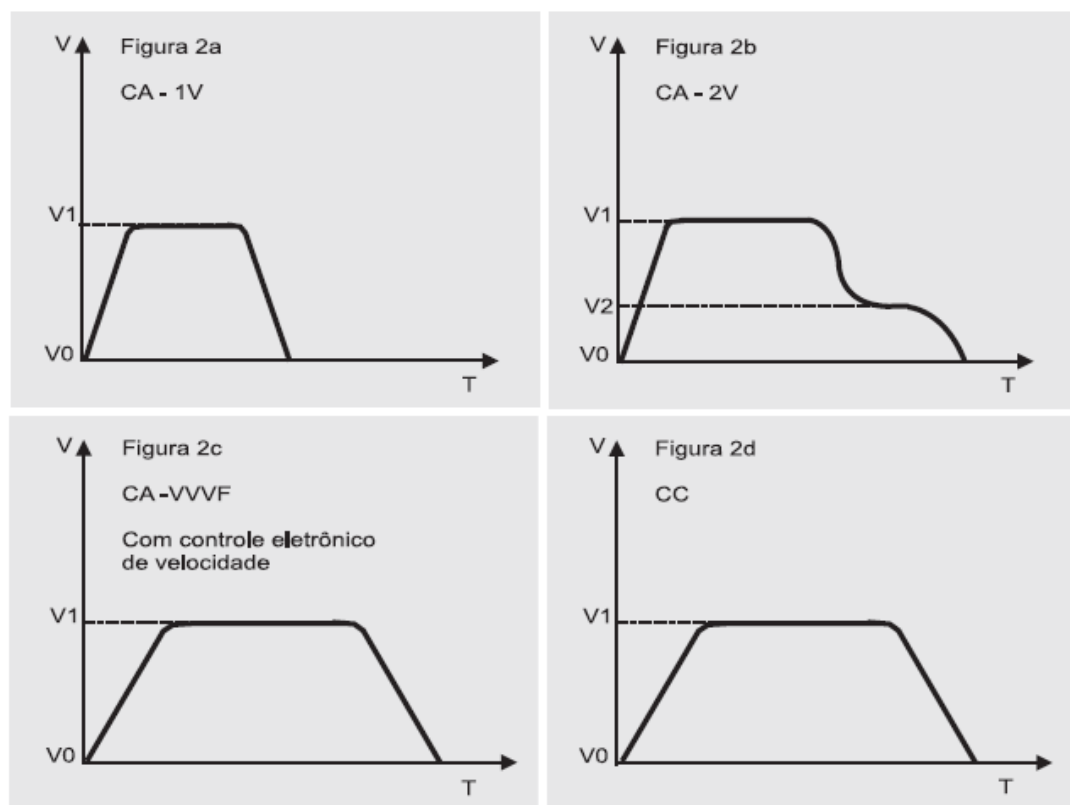


Figura 5.20. Gráficos de velocidade X tempo para diferentes tipos de motores. [18]

No caso 2a, o elevador parte de sua velocidade inicial V_0 até sua velocidade nominal V_1 no processo de aceleração, realizando o contrário durante a frenagem. Assim, tal motor é classificado como de corrente alternada com uma velocidade. Era bastante utilizado no passado para transporte de passageiros, mas hoje em dia seu uso se restringe ao transporte apenas de carga, uma vez que seu acionamento não proporciona bons parâmetros de conforto e consumo de energia em relação a modelos mais novos.

No caso 2b, a aceleração do elevador ocorre da mesma maneira se comparada ao caso anterior, porém, antes da frenagem final, sua velocidade é reduzida a cerca de um quarto da velocidade nominal. É chamado de motor de corrente alternada com duas velocidades. Apesar de se apresentar mais confortável que a alternativa anterior, seu uso ainda é restrito a edifícios de pequeno e médio porte ou média intensidade de tráfego.

Já no caso 2c, trata-se de acionamento por tensão e frequência variáveis, ou “VVVF”. Nele, a velocidade é controlada através de um padrão desejado, o que permite a obtenção de variações de aceleração e frenagem suaves, evitando saltos de velocidade como nos casos anteriores. É hoje a solução mais tecnológica disponível no mercado para o acionamento de equipamentos de transporte vertical, aliando tanto conforto quanto economia de energia. Podem ser aplicados a edifícios de qualquer porte e atendem a qualquer capacidade de tráfego.

A diferença entre a figura 2c e a 2d está no fato de que, no último tipo, o controle da aceleração e da desaceleração é realizado por conversores estáticos (ou motogeradores) que fornecem a tensão variável (corrente contínua) ao motor de tração do elevador.

Assim, à medida que os tipos de acionamento foram evoluindo, os seguintes benefícios foram sendo obtidos:

- Vida mais longa de diversos componentes, como cabos, polias, sapatas de freio e contatos, menos solicitados devido à maior suavidade das partidas e frenagens;
- Nivelamento mais preciso entre a cabina e o pavimento, independente da carga transportada, devido ao maior controle sobre a frenagem;
- Menor sobrecarga térmica sobre o motor e menor perda de energia, pois na passagem da alta para baixa velocidade, toda a energia cinética é transformada em calor;
- Menor consumo de energia elétrica.

5.5.2 Seleção do motor

A escolha da máquina de tração deve ser baseada tanto no peso a ser deslocado quanto na velocidade desejada para a cabina. Ainda conforme o manual, a massa do contrapeso é, de acordo com o presente projeto, igual à massa da cabina acrescida de 40% a 50% da carga nominal do elevador.

A tabela a seguir apresenta os componentes da cabina e suas respectivas massas. As massas da estrutura principal, painéis de aço inox e chapa superior foram obtidas através da função “Propriedades de massa” do software *SolidWorks*. As demais massas foram obtidas de catálogos ou aproximadas para a posterior seleção do motor:

Tabela 5.5. Componentes do elevador e suas respectivas massas.

| Componente | Massa (kg) |
|---|------------|
| Estrutura com suportes | 77 |
| Painel - piso | 26 |
| Painel - teto | 26 |
| Painel – parede direita | 50 |
| Painel – parede esquerda | 50 |
| Painel – frente | 12 |
| Painel - fundo | 12 |
| Portas (todas as quatro folhas) | 72 |
| Chapa superior | 60 |
| Chapa de suporte dos freios (duas) | 4 |
| Soleiras (duas) | 7 |
| Protetor de Soleira (dois) | 29 |
| Operadores de porta (dois, com sua estrutura) | 43 |
| Tirantes | 3 |
| Cabos (três) | 5 |
| Acabamento (itens do interior) | 20 |
| Total | 496 |

Com o valor total encontrado, pode-se calcular a massa necessária que o contrapeso deve possuir. Com um peso total da cabina de aproximadamente 500 kg, caso o contrapeso conte ainda com 50% da carga nominal, ou seja, 315 kg, possuirá uma massa total de 815 kg. Caso conte ainda com 40% da carga nominal, ou seja, 252 kg, possuirá massa total de 752 kg. Assim, o motor deve ser capaz de movimentar uma diferença de massa de 315 kg ou 378 kg, respectivamente.

A NBR16042 faz diversas considerações em relação aos cabos permitidos para utilização em elevadores elétricos de passageiros, o que será melhor detalhado posteriormente nesse trabalho. Porém, é importante salientar primeiramente duas delas: o diâmetro mínimo permitido para tais cabos é de 8 mm e, além disso, a relação entre o diâmetro primitivo de polias e o diâmetro nominal dos cabos de tração deve ser de pelo o menos 40. Dessa forma, o diâmetro mínimo permitido para uma polia deve ser de 320 mm e tal fato deve ser considerado durante a seleção do motor.

Foram pesquisados motores feitos especialmente para aplicação em elevadores, uma vez que suas descrições técnicas são voltadas para o serviço ao qual são designados. Além disso, já são vendidos em conjunto com as suas respectivas polias motoras.

Após a análise de diversos catálogos, o motor encontrado que melhor se adequa à situação é o modelo G-400 T1 da marca italiana Alberto Sassi. Para a configuração de sustentação utilizada de 1:1, ele conta com uma capacidade de 480 kg, atua em velocidades de 0,63 a 2,5 m/s e possui diversos diâmetros possíveis para sua polia, entre eles o de 320 mm.

Apresenta torque nominal de 650 Nm, valor superior ao torque máximo exigido, realizado quando a cabina estiver em sua plena capacidade. Tal constatação pode ser conferida através da equação (15), onde a força considerada é referente à diferença de massa entre cabina e contrapeso e a distância é o raio da polia utilizada:

$$T_{or} = F * d = 378 * 9,81 * 0,16 = 593,31 Nm \quad (15)$$

Este modelo de motor é disponibilizado com opção de possuir ou não sistema de ventilação. Uma vez que o elevador dificilmente será acionado de forma contínua por muito tempo, o modelo sem ventilação é utilizado. A sua velocidade foi escolhida simplesmente em função do tempo máximo do trajeto. Optou-se por mantê-la a mais baixa possível, ou seja, 0,63 m/s. Por se tratar de apenas um andar a ser percorrido, o curso efetivo do elevador é bastante curto, cerca de 3,15 metros. Assim, o tempo total de subida ou descida da cabina seria de aproximadamente 5 segundos. A Figura 5.21 ilustra o motor selecionado:

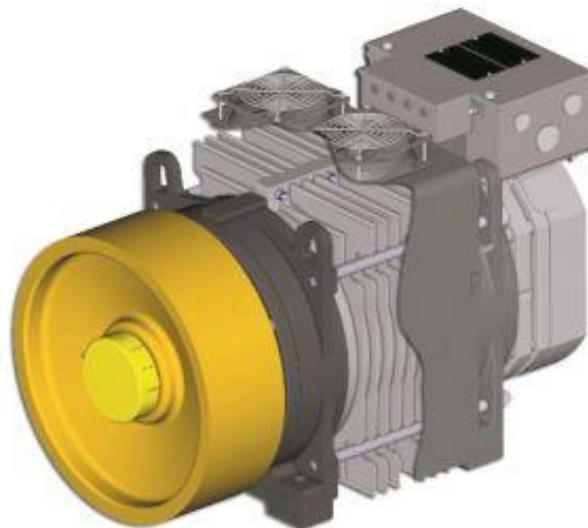


Figura 5.21. Motor G-400 T1. [27]

5.6 CONTRAPESO

Com a massa total da cabina em plena capacidade, é possível projetar a estrutura do contrapeso. Ele possui tal massa referida mais 40% da carga nominal suportada pelo elevador, ou seja, 752 kg. Sua

estrutura é feita de aço SAE 1045 e é composta por duas longarinas e dois cabeçotes, aparafusados entre si com parafusos com categoria de propriedade 4,6, de tamanho M8. Todas as partes estruturais são compostas de perfis em U, possuindo as longarinas 3 mm de espessura e os cabeçotes 7 mm. As Figuras 5.22 e 5.23 mostram os componentes individuais do contrapeso:

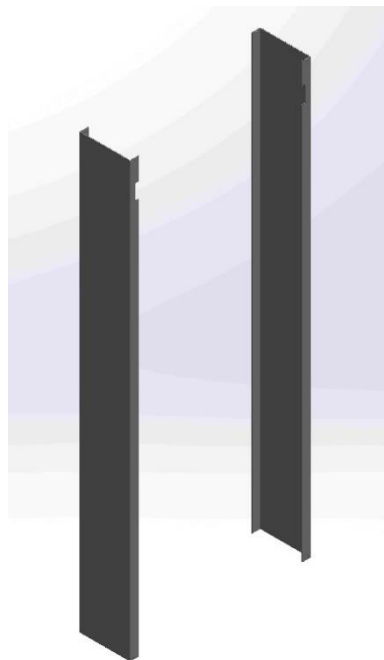


Figura 5.22. Longarinas do contrapeso.

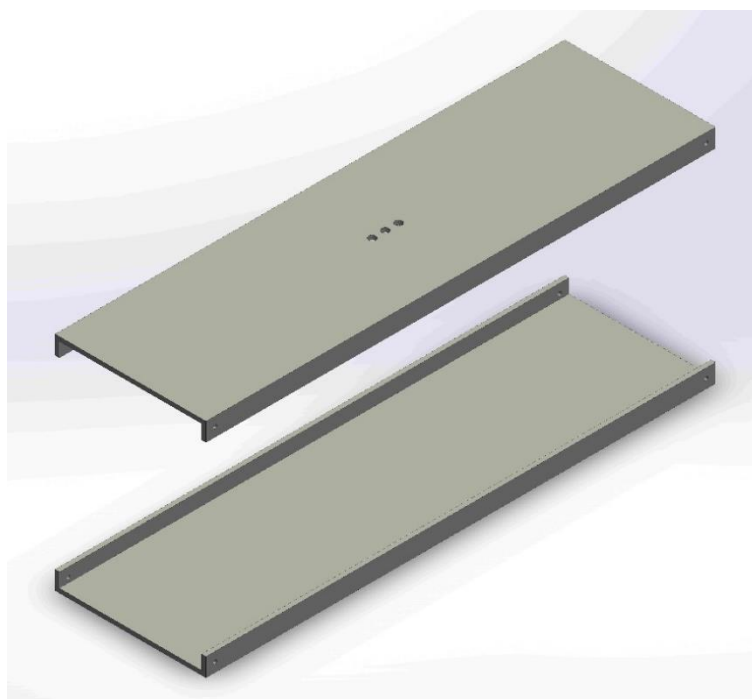


Figura 5.23. Cabeçotes do contrapeso.

Através da figura acima é possível notar os 3 furos por onde se encaixam os tirantes, similar à chapa que se encontra na parte superior da cabina. Os componentes mostrados formam uma armação,

onde são inseridos pesos de concreto até se chegar à massa desejada. Os pesos possuem dimensões de 220 X 50 X 785 mm e são necessários 34 pesos para se chegar a 759 kg, valor próximo aos 752 kg referidos anteriormente. O contrapeso completo pode ser observado na Figura 5.24:

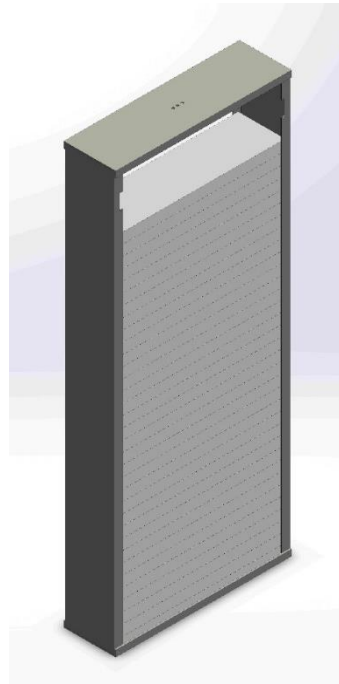


Figura 5.24. Vista isométrica do contrapeso.

No Anexo 1 deste trabalho estão algumas simulações realizadas a fim de validar que a estrutura suporte os esforços aos quais será submetida durante a operação do elevador. Para a análise dos parafusos, considerou-se uma carga pontual equivalente à massa dos pesos na parte central do cabeçote que serve de base para o contrapeso, o que pode ser visto na Figura 5.25:

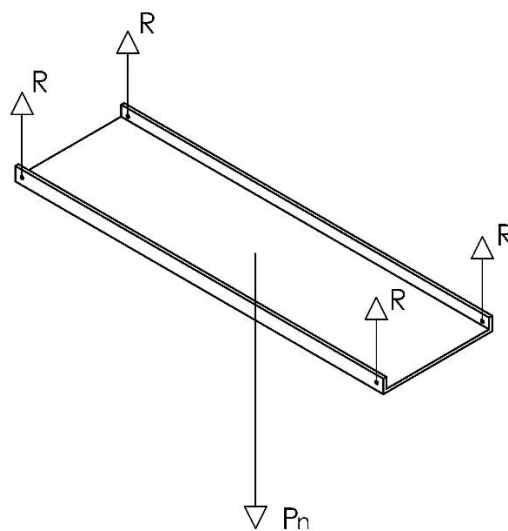


Figura 5.25. Diagrama de corpo livre da base do contrapeso.

$$P_n = m * g_n = 714 * 9,81 = 7004,34 \text{ N} \quad (16)$$

$$R = \frac{P_n}{4} = 1751,1 \text{ N} \quad (17)$$

Checando se o parafuso falha por flexão, onde t é a espessura da conexão:

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{(R * \frac{t}{2})}{\frac{(\pi * d^3)}{32}} = \frac{(1751,1 * 0,005)}{5,03 * 10^{-8}} = 174,1 \text{ MPa} \quad (18)$$

Checando se o parafuso falha por cisalhamento puro:

$$\tau = \frac{R}{A} = \frac{1729}{36,6 * 10^{-6}} = 47,8 \text{ MPa} \quad (19)$$

Conforme o livro Projeto de Máquinas de Shigley [22], o parafuso analisado possui resistência mínima de prova de 225 MPa, ou seja, não falhará sob os esforços aos quais é submetido.

5.7 SELEÇÃO DOS CABOS DE SUSPENSÃO E POLIA DE DESVIO

5.7.1 Cabos de suspensão

Segundo a NBR16042, algumas exigências são impostas para o projeto em relação aos seus meios de suspensão:

- 1) Os carros e os contrapesos devem ser suspensos por cabos de aço;
- 2) Devem possuir diâmetro nominal mínimo de 8 mm;
- 3) O número mínimo possível de cabos deve ser dois e eles devem ser independentes;
- 4) A relação entre o diâmetro primitivo de polias e o diâmetro nominal dos cabos de tração deve ser de pelo o menos 40, independentemente do número de pernas;
- 5) O coeficiente de segurança mínimo admitido para os cabos deve ser de 12, para suspensão por três ou mais cabos e 16, para suspensão por dois cabos;

Justamente devido aos itens 1) e 4) tratados acima, que, para um cabo de 8 mm (mínimo possível), a respectiva polia motora deve possuir 40 vezes o seu diâmetro nominal, ou seja, 320 mm. Este foi um fator limitante na escolha do motor, como expresso anteriormente.

O cálculo do fator de segurança dos cabos pode ser encontrado no anexo M da NBR16042. Ele é obtido através do gráfico mostrado na Figura 5.26:

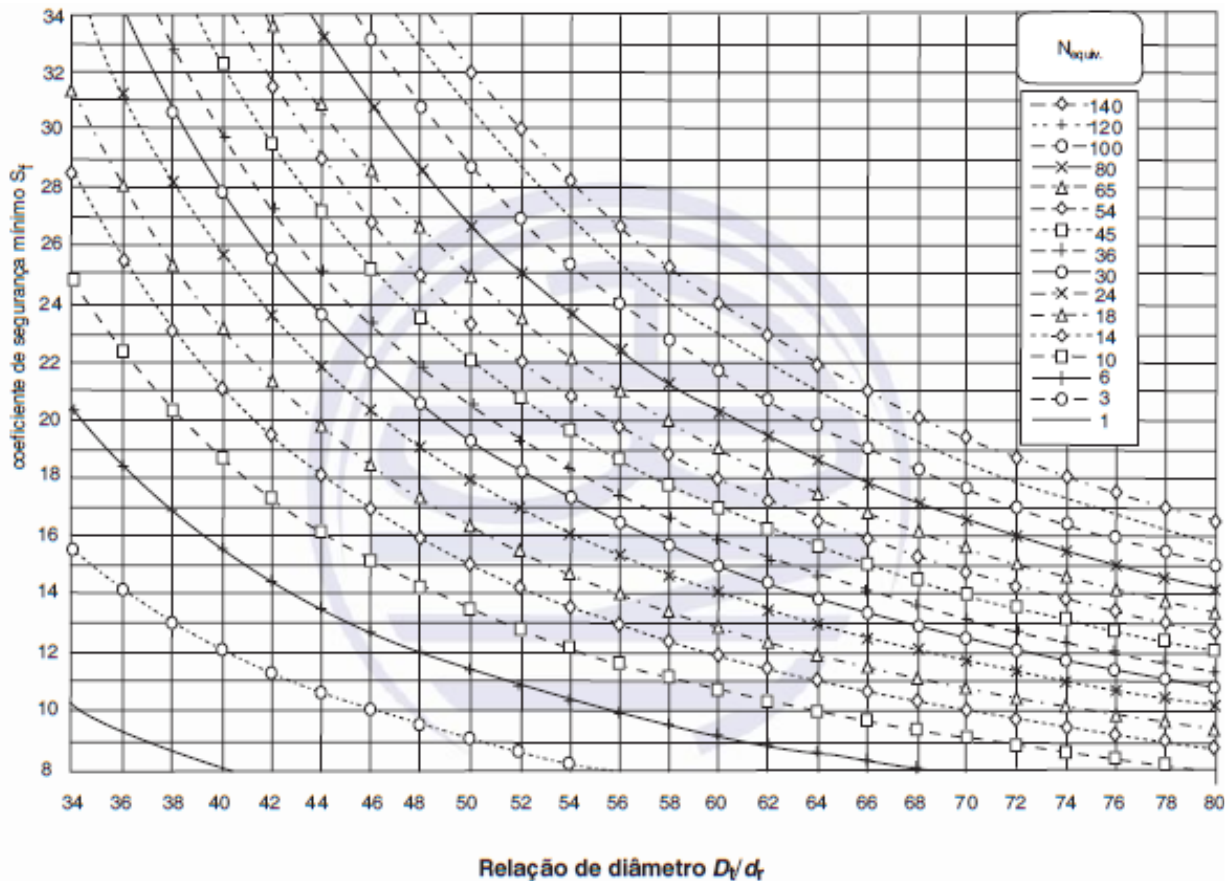


Figura 5.26. Fator de segurança do cabo em função da relação dos diâmetros da polia motora e do cabo, para vários números equivalentes de polias. [11]

A relação de diâmetro consiste na divisão do diâmetro da polia motriz (D_t) pelo diâmetro do cabo (d_γ). Com a polia escolhida de 320 mm e um cabo com diâmetro nominal mínimo de 8 mm, tem-se uma relação de 40. Resta saber o valor de N_{equiv} , que é calculado por meio da seguinte fórmula:

$$N_{equiv} = N_{equiv(t)} + N_{equiv(p)} \quad (20)$$

Nela, $N_{equiv(t)}$ é o número equivalente de polias motrizes e $N_{equiv(p)}$ o número equivalente de polias de desvio.

$N_{equiv(t)}$ é obtido através da tabela presente no anexo, que correlaciona tal valor com a configuração da ranhura da polia motriz. Entre as opções disponíveis pelo fornecedor, escolheu-se a polia com ranhura semicircular recortada, que possui valor de β igual a 90° . A Figura 5.27 mostra uma seção transversal de polia, com as variáveis a serem conferidas na tabela:

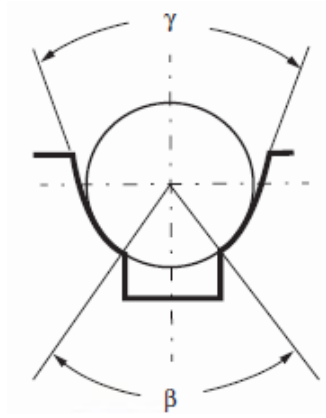


Figura 5.27. Seção de polia com ranhura semicircular recortada. [11]

Tabela 5.6. Número equivalente de polias. [11]

| | | | | | | | | |
|-----------------------------------|-----------------|-----|------|------|------|-----|------|------|
| Ranhuras V | Ângulo γ | - | 35° | 36° | 38° | 40° | 42° | 45° |
| | $N_{equiv(t)}$ | - | 18,5 | 15,2 | 10,5 | 7,1 | 5,6 | 4,0 |
| Ranhuras U/V com recorte | Ângulo β | 75° | 80° | 85° | 90° | 95° | 100° | 105° |
| | $N_{equiv(t)}$ | 2,5 | 3,0 | 3,8 | 5,0 | 6,7 | 10,0 | 15,2 |

De acordo com a tabela, o valor de $N_{equiv(t)}$ é 5. Já $N_{equiv(p)}$ depende da configuração do sistema de suspensão. A seguir, uma figura do sistema escolhido, com elevação de 1:1, ou seja, com a cabina se movendo com a mesma velocidade do contrapeso:

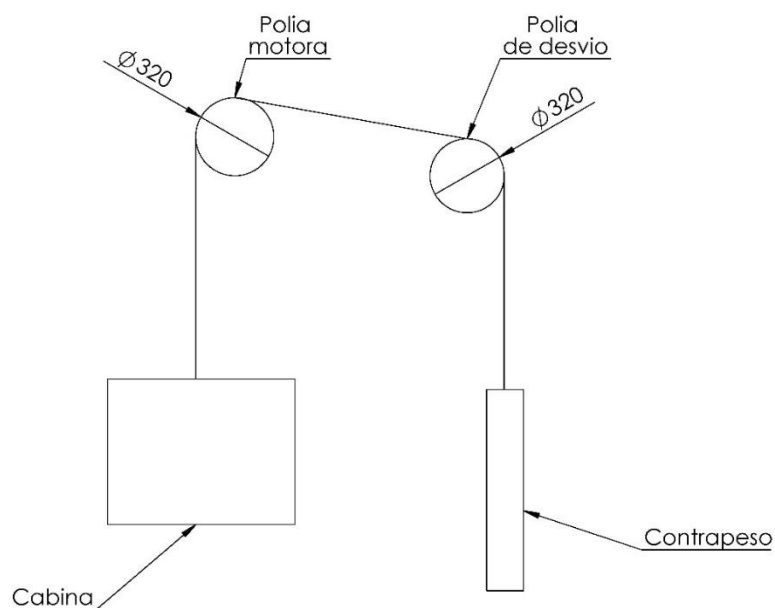


Figura 5.28. Sistema de suspensão utilizado.

$N_{equiv(p)}$ é dado através da seguinte fórmula:

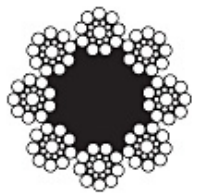
$$N_{equiv(p)} = K_p \times (N_{ps} + 4N_{pr}) \quad (21)$$

N_{ps} é o número de polias com flexão simples, no caso, 1, N_{pr} é o número de polias com flexão reversa, ou seja, oposta à flexão precedente, no caso, nenhuma e K_p é o fator de relação entre os diâmetros das polias motriz e de desvio e é mostrado a seguir, onde D_t é o diâmetro da polia motriz e D_p o diâmetro médio de todas as polias, excluída a motriz:

$$K_p = \left(\frac{D_t}{D_p}\right)^4 \quad (22)$$

No caso em questão, ambas as polias possuem 320 mm de diâmetro, resultando em $K_p = 1$. Com $N_{equiv(p)} = 1$ e $N_{equiv(t)} = 5$, tem-se um valor de $N_{equiv} = 6$. De acordo com o gráfico da Figura 5.26, escolhendo-se a curva respectiva para o N_{equiv} encontrado e para um D_t/d_r de 40, obtém-se um fator de segurança de aproximadamente 15,5. Tal valor está de acordo com a norma, desde que sejam utilizados 3 cabos.

O cabo selecionado foi o 8x19S-AF da CIMAF, feito especialmente para elevadores, com 8 mm de diâmetro. A Figura 5.29 indica algumas de suas características:



| Diâmetro | | Massa Aprox. kg/m | Carga de Ruptura mínima em tf | |
|----------|-------|-------------------|-------------------------------|--|
| mm | pol | | Dual Tensile | |
| 6,40 | 1/4" | 0,146 | 1,83 | |
| 8,00 | 5/16" | 0,223 | 2,86 | |
| 9,50 | 3/8" | 0,315 | 4,10 | |
| 11,00 | - | 0,445 | 5,42 | |
| 13,00 | 1/2" | 0,560 | 7,50 | |
| 16,00 | 5/8" | 0,880 | 11,50 | |

Torções: TRD Acabamentos: Polido
- Outros diâmetros poderão ser fabricados sob consulta

Figura 5.29. Informações sobre o cabo de aço 8x19S-AF, da CIMAF. [28]

5.7.2 Polia de desvio

Conforme discutido, o sistema de elevação usado será de 1:1, como observado na letra (a) da figura 5.1 e no esquema da figura 5.28. Isso implica na presença de uma polia de desvio para garantir a distância horizontal entre a cabina e o contrapeso. Tal polia não sofre tantos esforços quanto a motora, pois conforme o próprio nome diz, tem a função apenas de desviar os cabos do elevador, possuindo menor área de contato com eles. Dessa forma, foi selecionada a polia de desvio fornecida pela empresa HTS. Ela é feita de Nylon, possui comprimento de 100 mm, 5 canais para cabos de 8 mm e 320 mm de diâmetro, o que garante a validade dos cálculos já realizados. A Figura 5.30 mostra o componente selecionado:



Figura 5.30. Polia de desvio selecionada. [29]

5.8 TIRANTES

5.8.1 Seleção

A seguir, serão selecionados os tirantes, componentes responsáveis pela fixação dos cabos à cabina e ao contrapeso, resistindo aos esforços trativos que atuarão sobre o conjunto durante a operação do elevador. Tal componente se localizará na chapa superior da cabina, bem como no cabeçote superior do contrapeso. O posicionamento dos tirantes na caixa se dá conforme ilustrado pela Figura 5.31:

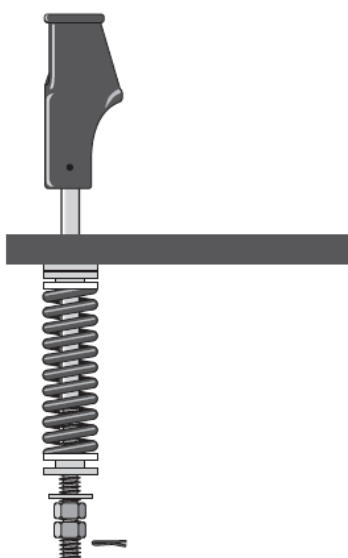


Figura 5.31. Esquema de fixação dos tirantes. [30]

Para seleção deste componente, é preciso levar em consideração o diâmetro dos cabos de aço utilizados no elevador. Como demonstrado na seção anterior, foram escolhidos três cabos de 8 mm e com base nisso, foi selecionado o modelo de tirante WSY-516-12 da Prysmian Group. Uma vez que o sistema possui 3 cabos, são utilizados 6 tirantes ao todo, três para a cabina e três para o contrapeso,

sendo cada par ligado às duas extremidades de cada cabo. Para fins de amortecimento, serão acopladas a eles molas de modelo WS-SA-38, próprias para o diâmetro dos cabos utilizados. Segundo a NBR16042, “as extremidades dos meios de suspensão devem ser fixadas ao carro, ao contrapeso e aos pontos de suspensão por meio de fixadores do tipo chumbador, com metal patente ou resina, ou do tipo cunha (autofixantes)”. O tirante selecionado atende à norma, uma vez que a forma de fixação com o cabo de aço é dada por meio de uma cunha e será demonstrada na próxima seção. A Figura 5.32 retrata o tirante escolhido, sem as suas molas acopladas:



Figura 5.32. Tirante 5/16” selecionado para o projeto. [31]

Segundo o catálogo do fabricante, as hastes rosqueadas presentes nos tirantes do modelo selecionado possuem padrão M12 e são feitas de aço ASTM 668. Segundo o catálogo da própria ASTM [32], tal aço possui um limite de resistência à tração de no mínimo 325 MPa, quando não sofre tratamento térmico. Para checar as tensões às quais o elemento é submetido, tomou-se a situação onde o elevador se encontra em repouso, e os 3 tirantes da cabina devem juntos suportar forças equivalente às geradas pela massa da cabina com sua capacidade máxima, ou seja, cerca de 11085 N. Como tratam-se de três tirantes, centralizados de forma a dividirem os esforços aos quais são solicitados, devem suportar cada um uma força de 3695 N. Segundo o livro Elementos de Máquinas de Shigley [22], a área de tensão de tração para um diâmetro de 12 mm é de 84,3 mm². Dessa forma:

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{3695}{84,3 \cdot 10^{-6}} = 43,8 < 325 \text{ MPa} \quad (23)$$

Uma vez que o contrapeso possui massa menor do que a cabina plenamente carregada, seus tirantes sofrerão solicitações menores que os analisados, ou seja, também não falharão. No Anexo 2 deste trabalho pode ser encontrado o catálogo do fabricante com as especificações do tirante selecionado.

5.8.2 Fixação dos cabos de aço

O tipo de fixação com o cabo de aço para esse tipo de tirante é realizado por meio de uma cunha e vale tanto para os componentes presos à cabina quanto aos componentes presos ao contrapeso. Conforme instruções contidas no catálogo da marca Prysmian Group [30], será demonstrado na Figura 5.33 um passo a passo do processo, com suas respectivas ilustrações para auxílio:

- 1) Passar o cabo pelo corpo soquete;
- 2) Dobrar o cabo e passa-lo pelo corpo do soquete novamente, porém deixando espaço para a inserção da cunha;
- 3) Inserir a cunha no espaço previamente deixado;
- 4) Segurar o cabo por um lado e puxar pelo outro para mantê-lo tracionado e ao mesmo tempo posicionar a cunha no local correto;
- 5) Apertar as porcas na parte inferior do tirante;
- 6) Instalar cliques retentores para segurar a ponta solta do cabo. Conforme a figura e o cabo selecionados, o primeiro retentor deve ficar a uma distância máxima de 32 mm do corpo do soquete e o segundo retentor deve ficar a uma distância máxima de 64 mm do primeiro.

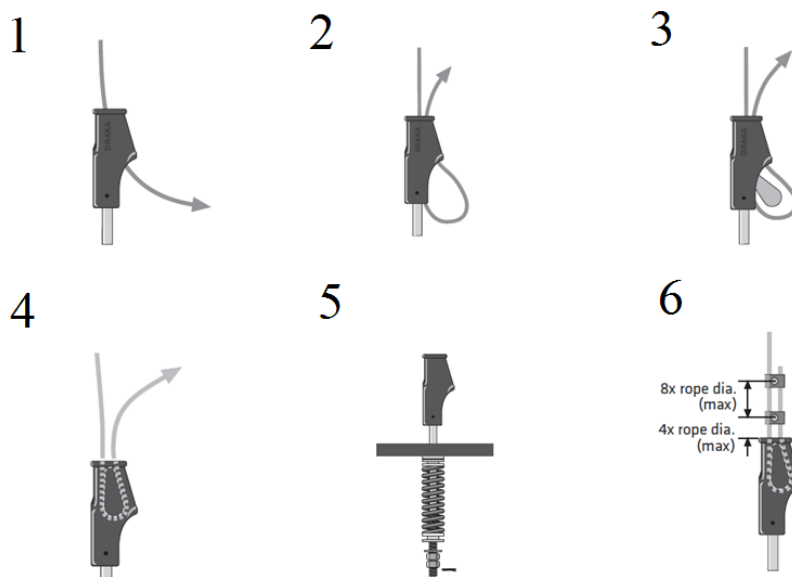


Figura 5.33. Passo a passo da fixação dos cabos ao tirante. [30]

5.9 SISTEMA DE FREIOS

5.9.1 Freio do motor

Tal freio é responsável pelas desacelerações cotidianas e paradas de cabina do elevador em seus respectivos pavimentos, normalmente sendo acoplado diretamente à máquina trativa. É importante que

sejam utilizados freios que consigam fornecer frenagens progressivas, a fim de se garantir maior conforto para os passageiros. Diversos tipos de sistemas podem ser usados, como freios de sapata externa e freios a disco, exemplificados na Figura 5.34:

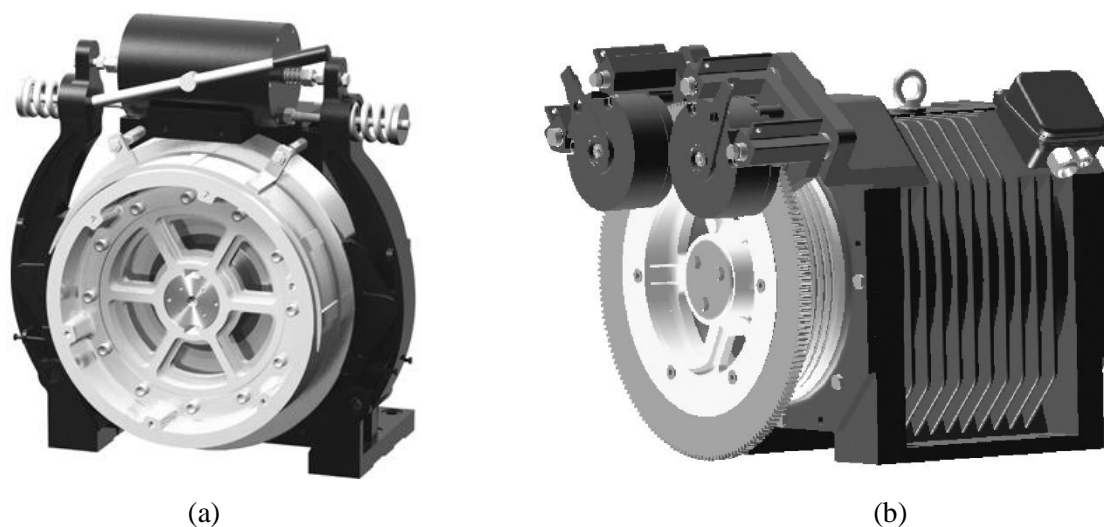


Figura 5.34. Motores com (a) freios de sapata externa e (b) freios a disco. [33]

O tipo presente no motor selecionado é o freio a disco de contato axial. Tal configuração permite que sejam usados diversos discos em série a fim de se obter o atrito desejado. No caso em questão, o freio utilizado que já vem acoplado ao motor é o DF02, da série DFX2, que conta com dois discos de freio, conforme mostrado no desenho da Figura 5.35:

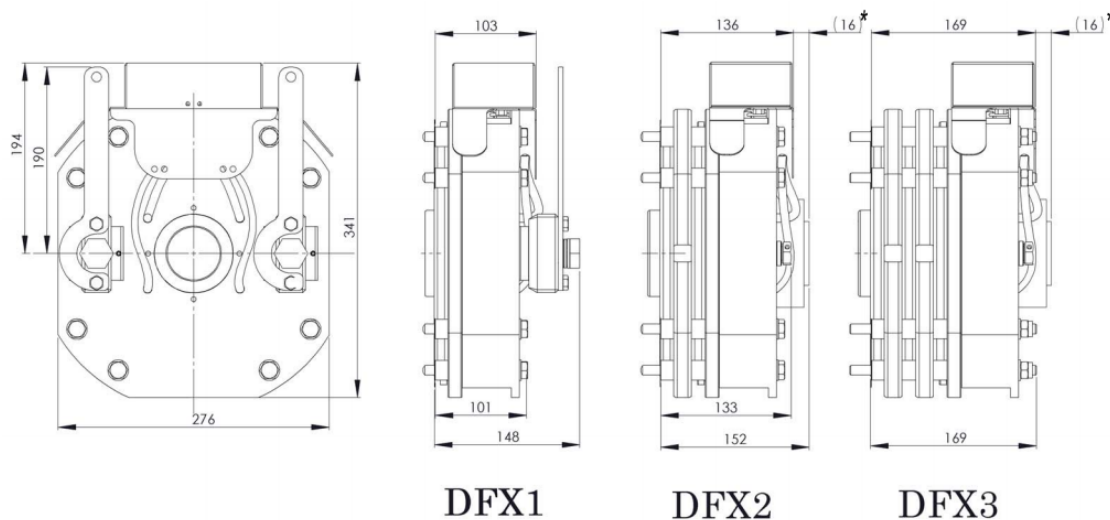


Figura 5.35. Desenhos técnicos dos freios da série DFX. [34]

5.9.2 Freio de segurança

O freio de segurança é um dispositivo fixado na armação da cabina ou do contrapeso, destinado a pará-los, de maneira progressiva ou instantânea, prendendo-os às guias quando acionado pelo limitador de velocidade. Sua atuação é puramente mecânica. Segundo a NBR16042, o carro, ou no projeto em questão a própria cabina, deve ser provida de um freio de segurança capaz de operar no sentido de descida e capaz de pará-la com a sua carga nominal, à velocidade de desarme do limitador de velocidade,

mesmo se ocorrer ruptura dos elementos de suspensão, por meio de força de compressão nas guias, se mantendo presa a elas. Ainda segundo a norma, o freio deve ocorrer de forma progressiva se a velocidade nominal do elevador exceder 1 m/s. Do contrário, pode ser instantâneo com efeito amortecido. Pode ainda ser apenas instantâneo caso a velocidade esteja abaixo de 0,75 m/s. Como no projeto em questão a velocidade de operação do motor foi definida como 0,63 m/s, será selecionado um freio do tipo instantâneo.

O freio escolhido foi da linha LADI da marca Wittur. Ele possui duplo efeito, ou seja, é capaz de atuar tanto nas subidas quanto nas descidas. Segundo catálogo do fabricante, o modelo LADI-9 é projetado para atuar a velocidades nominais de até 0,63 m/s e velocidades máximas de até 1 m/s. Ele atende às condições presentes no projeto, conforme mostrado na tabela a seguir:

Tabela 5.7. Características dos freios.

| | Especificações do freio | Condições de Projeto |
|-------------------|-------------------------|----------------------|
| Carga máxima | ≤1671 kg | 1130 kg |
| Massa da cabina | 225-630 kg | 500 kg |
| Força de frenagem | 7400 – 12750 N | 9859,05 N |

O método de cálculo da força de frenagem está presente no catálogo técnico do equipamento e é o seguinte:

$$F_{freio} = (2 * Q + 0,5 * P) * d * g_n + 0,5 * P * g_n \quad (24)$$

Onde:

P é a massa da cabina;

Q é a carga nominal;

d é o retardo recomendado ($0,4 < d < 0,6$);

g_n é a aceleração da gravidade.

Dessa forma,

$$F_{freio} = (2 * 630 + 0,5 * 500) * 0,5 * 9,81 + 0,5 * 500 * 9,81 = 9859,05 \text{ N} \quad (24)$$

A Figura 5.36 mostra o freio selecionado:

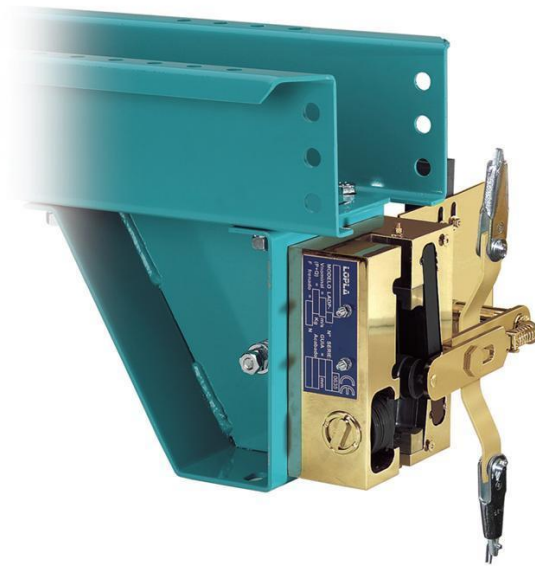


Figura 5.36. Cunha de freio selecionada. [35]

É necessária também a presença de um sincronizador, ou seja, sistema que conta com uma haste que se liga às cunhas, unificando o acionamento das duas. A empresa disponibiliza diversos tipos de fixação para o freio de segurança. Conforme o catálogo, o escolhido foi o tipo A, que está exemplificado também na Figura 5.36. A fixação na cabina ocorre por meio de parafusos M13 em uma chapa posicionada no centro da estrutura, em sua parte inferior, como visto na Figura 5.37:

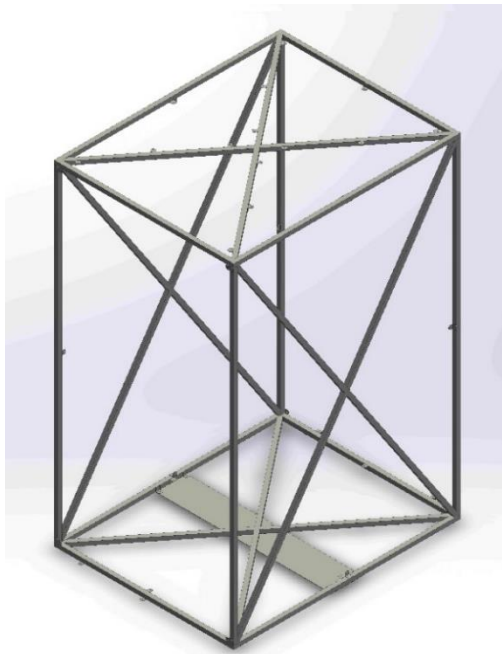


Figura 5.37. Chapa de suporte do freio de segurança.

A Figura 5.38 mostra uma imagem da vista frontal do freio de segurança com o suporte escolhido, já com o sincronizador. Os desenhos técnicos que mostram a configuração do suporte do tipo A podem ser encontrados no Anexo 2:

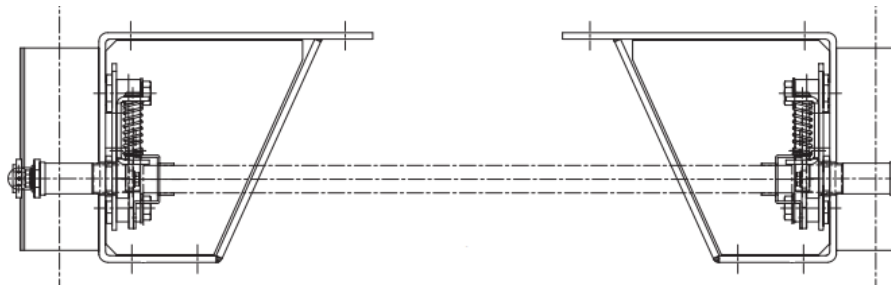


Figura 5.38. Vista frontal do freio de segurança com suporte do tipo A. [36]

5.9.3 Limitador de velocidade

Trata-se de um dispositivo constituído basicamente de polia, cabo de aço e interruptor. É acionado sempre que a cabina ultrapassa uma velocidade preestabelecida e sua função é acionar mecanicamente o freio de segurança por meio do cabo de aço que conecta os dois componentes. O meio mais comum de atuação dos limitadores é o centrífugo, onde as hastes são presas a algum tipo de resistência, tal qual molas, que são alongadas ou comprimidas conforme a variação da rotação da polia do limitador. Se tal rotação atingir o limite crítico, as hastes são travadas em degraus internos presentes na estrutura do equipamento, parando todo o sistema. Tal efeito é ilustrado na Figura 5.39:

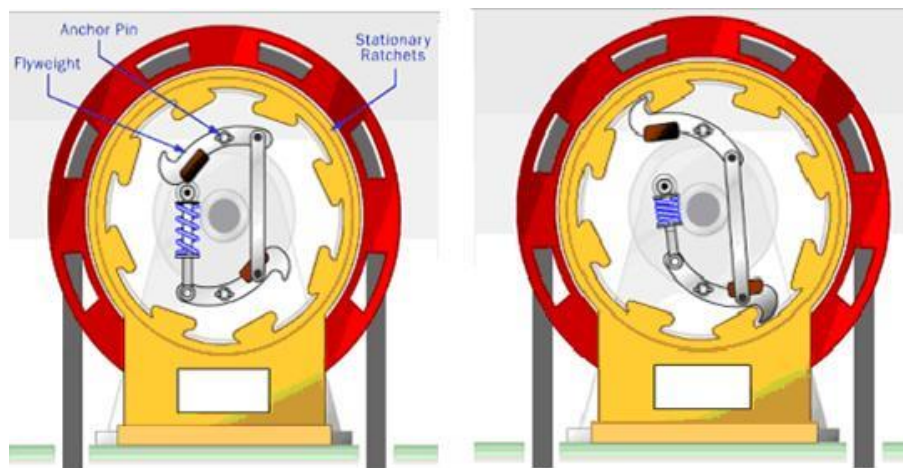


Figura 5.39. Esquema de travamento centrífugo do limitador de velocidades. [37]

Segundo a NBR16042, a velocidade limite admitida é de pelo o menos 115% da velocidade nominal e no máximo igual a 0,8 m/s, no caso de velocidades de até 0,63 m/s, o que é o caso em questão neste projeto. Dessa forma, o desarme ocorreria entre 0,72 m/s e 0,8 m/s.

Uma vez que a própria norma aconselha a escolher velocidades próximas ao limite inferior estabelecido, é configurada como velocidade de desarme 0,72 m/s.

Quanto ao cabo presente no limitador, há uma série de exigências a serem cumpridas, entre elas:

- 1) O cabo deve ser feito de aço e projetado para essa particular finalidade;
- 2) Seu diâmetro nominal mínimo deve ser de 6 mm;

3) A razão entre o diâmetro nominal da polia do limitador de velocidade e o diâmetro nominal do cabo deve ser de pelo menos 30;

4) O cabo deve ser tenso por uma polia tensora cujo movimento deve estar restrito a um plano vertical.

Com base nessas solicitações, o modelo escolhido é o de Código L1SC308, da marca Schindler e comercializado pela empresa Alfa, com polia de 290 mm e ranhura de 6 mm. Tal modelo possui uma velocidade nominal de 0,75 m/s, valor adequado para o projeto, conforme os limites exigidos pela norma. Além do limitador, é necessária uma polia tensora, cuja função é apenas garantir o correto tensionamento do cabo de segurança. A escolhida possui 240 mm e é de modelo NPE 260, da empresa New Parts Elevator. Vale lembrar que no presente projeto o limitador de velocidade se encontra na parte superior da caixa, acima da laje do SG-09 e junto ao motor. A polia tensora se encontra na parte inferior da caixa, presa ao chão. As Figuras 5.40 e 5.41 mostram o limitador e a polia tensora, respectivamente:



Figura 5.40. Limitador de velocidade selecionado. [38]



Figura 5.41. Polia tensora selecionada. [39]

5.10 GUIAS

Segundo definição na NBR16042, guias são os componentes rígidos destinados a manter a direção do movimento do carro ou do contrapeso. A norma apresenta em seu anexo G as diretrizes de cálculo para se escolher a guia a ser utilizada. Basicamente, são analisadas duas condições mais críticas de operação do elevador: uso normal, em carregamento e atuação do freio de segurança. Assim, são feitos cálculos para se obterem tensões nas guias e tais tensões devem ser comparadas com os valores admissíveis exigidos na tabela 5.8, onde R_m é a tensão de ruptura à tração do material:

Tabela 5.8. Tensões admissíveis σ_m .

| Casos de carga | R_m N/mm ² | | |
|-------------------------------|----------------------------|-----|-----|
| | 370 | 440 | 520 |
| Uso normal, em carregamento | 165 | 195 | 230 |
| Atuação do freio de segurança | 205 | 244 | 290 |

Além disso, as máximas deflexões admissíveis calculadas devem ser de 5 mm em ambas as direções para guias do carro e do contrapeso, na atuação dos freios de segurança.

A NBR196 dispõe de todas as exigências necessárias para a seleção das guias de elevador. Segundo ela, as guias podem ser trefiladas a frio ou usinadas e seu processo de fabricação está presente no nome do modelo sobre a forma de letra: A para trefiladas a frio e B para usinadas. Na norma são apresentadas ainda tabelas com todos os tipos de guias disponíveis, com suas características técnicas e dimensionais.

Uma vez que o freio foi primariamente selecionado para uma guia cujo boleto possui 9 mm de largura, os cálculos foram realizados tendo em base o modelo T70-1A, o menor disponível com essa característica.

Tais cálculos avaliam basicamente as tensões de flexão e flambagem às quais as guias são submetidas, e serão demonstrados a seguir, para uma cabina centralmente guiada e suspensa, como é o caso presente no projeto:

5.10.1 Análise na atuação do freio de segurança

5.10.1.1 Tensão de flexão relativa ao eixo y da guia, devido à força na guia

$$F_x = \frac{k_1 * g_n * (Q * X_Q + P * X_P)}{n * h} = \frac{3 * 9,81 * (630 * 145,2 + 500 * 193,57)}{2 * 2000} = 1385,13 \text{ N} \quad (25)$$

$$M_y = \frac{3 * F_x * l}{16} = \frac{3 * 1385,13 * 1000}{16} = 259711,88 \text{ Nmm} \quad (26)$$

$$\sigma_y = \frac{M_y}{W_y} = \frac{259711,88}{5350} = 48,5 \text{ MPa} \quad (27)$$

Onde:

F_x é a força de apoio no eixo x, expressa em N;

k_1 é um fator de impacto e equivale a 3 de acordo com a Tabela G.2 da norma;

g_n é a aceleração-padrão da gravidade, em m/s²;

n é o número de guias;

h é a distância entre cursores do carro, em mm;

P é a massa da cabina vazia, em kg;

Q é a carga nominal, expressa em kg;

X_P é a posição em mm da massa P do carro em relação às coordenadas transversais da guia, no caso, $D_x/8$, com D_x sendo a largura da cabina;

X_Q é a posição em mm da massa Q do carro em relação às coordenadas transversais da guia, no caso, $D_x/6$, com D_x sendo a largura da cabina;

M_y é o mometo fletor em relação ao eixo y, expresso em N.mm;

I é a distância máxima entre os suportes da guia, expressa em mm;

W_y é o módulo de resistência à flexão em relação ao eixo y, expresso em mm³;

5.10.1.2 Tensão de flexão relativa ao eixo x da guia, devido à força na guia

$$F_y = \frac{k_1 * g_n * (Q * Y_Q + P * Y_P)}{\frac{n}{2} * h} = \frac{3 * 9,81 * (630 * 183,18 + 500 * 244,23)}{1 * 2000} = 3495,08 \text{ N} \quad (28)$$

$$M_x = \frac{3 * F_y * I}{16} = \frac{3 * 3495,08 * 1000}{16} = 655327,5 \text{ Nmm} \quad (29)$$

$$\sigma_x = \frac{M_x}{W_x} = \frac{655327,5}{9240} = 70,9 \text{ MPa} \quad (30)$$

Onde:

Y_P é a posição em mm da massa P do carro em relação às coordenadas transversais da guia, no caso,

$D_y/8$, com D_y sendo a profundidade da cabina;

Y_Q é a posição em mm da massa Q do carro em relação às coordenadas transversais da guia, no caso, $D_y/6$, com D_y sendo a profundidade da cabina;

F_y é a força de apoio no eixo y, expressa em N;

M_x é o momento fletor em relação ao eixo x, expresso em N.mm;

W_x é o módulo de resistência à flexão em relação ao eixo x, expresso em milímetros ao cubo mm³;

5.10.1.3 Flambagem

$$F_k = \frac{k_1 * g_n * (P + Q)}{2} = \frac{3 * 9,81 * (630 + 500)}{2} = 16627,95 \text{ N} \quad (31)$$

$$\sigma_k = \frac{(F_k + k_3 * M_{aux}) * \omega}{A} = \frac{16627,95 * 1,44}{951} = 25,2 \text{ MPa} \quad (32)$$

Onde:

F_k é a força de flambagem na guia do carro, expressa em N;

σ_k é a tensão de flambagem, expressa em N/mm²;

k_3 é um fator de impacto, de acordo com a Tabela G.2 da norma;

M_{aux} é a força em uma guia devido ao equipamento auxiliar, expressa em N e desconsiderada por não haver tais equipamentos;

A é a área da seção transversal da guia, expressa em milímetros quadrados (mm²);

ω é o coeficiente de flambagem, obtido nas Tabelas G.3 e G.4 da norma;

5.10.1.4 Tensão combinada

$$\sigma_m = \sigma_x + \sigma_y = 70,9 + 48,5 = 119,4 \leq \sigma_{adm} = 205 \text{ MPa} \quad (33)$$

$$\sigma_{mk} = \sigma_m + \sigma_k = 119,4 + 25,2 = 144,6 \leq \sigma_{adm} = 205 \text{ MPa} \quad (34)$$

$$\sigma_c = \sigma_k + 0,9 * \sigma_m = 26,3 + 0,9 * 125,47 = 132,7 \leq \sigma_{adm} = 205 \text{ MPa} \quad (35)$$

Onde:

σ_m é a tensão de flexão, expressa em N/mm²;

σ_x é a tensão de flexão no eixo X, expressa em N/mm²;

σ_y é a tensão de flexão no eixo Y, expressa em N/mm²;

σ_{adm} é a tensão admissível, expressa em N/mm²;

σ_{mk} é a tensão de flexão e flambagem combinadas, expressa em N/mm²;

σ_c é a tensão de compressão na guia, expressa em N/mm²;

5.10.1.5 Flexão do boleto

$$\sigma_F = \frac{1,85 * F_b}{c^2} = \frac{1,85 * 1385,13}{6^2} = 71,2 \leq \sigma_{adm} = 205 \text{ MPa} \quad (36)$$

Onde:

σ_F é a tensão de flexão pontual do boleto, expressa em N/mm²;

F_b é a força exercida pelo cursor contra o boleto, expressa em N;

c é a largura da alma, expressa em mm;

5.10.1.6 Deflexões

$$\delta_x = 0,7 * \frac{F_x * l^3}{48 * E * I_y} = 0,7 * \frac{1385,13 * 1000^3}{48 * 200000 * 186500} = 0,54 \leq \delta_{adm} = 5 \text{ mm} \quad (37)$$

$$\delta_y = 0,7 * \frac{F_y * l^3}{48 * E * I_x} = 0,7 * \frac{3495,08 * 1000^3}{48 * 200000 * 413000} = 0,62 \leq \delta_{adm} = 5 \text{ mm} \quad (38)$$

Onde:

δ_x é a deflexão no eixo X, expressa em milímetros (mm);

δ_y é a deflexão no eixo Y, expressa em milímetros (mm);

E é o módulo de elasticidade, expresso em N/mm²;

I_x é o momento de inércia da área no eixo X, expresso em mm⁴;

I_y é o momento de inércia da área no eixo Y, expresso em mm⁴.

5.10.2 Uso normal, em carregamento

5.10.2.1 Tensão de flexão relativa ao eixo y da guia, devido à força na guia

$$F_x = \frac{F_s * X_1 + (P * X_P * g_n)}{n * h} = \frac{2472,12 * 580,7 + (500 * 193,57 * 9,81)}{2 * 2000} = 596,26 \text{ N} \quad (39)$$

$$M_y = \frac{3 * F_x * l}{16} = \frac{3 * 596,26 * 1000}{16} = 111798,75 \text{ Nmm} \quad (40)$$

$$\sigma_y = \frac{M_y}{W_y} = \frac{111798,75}{5350} = 20,9 \text{ MPa} \quad (41)$$

Onde:

F_s é a força na soleira e para os casos onde a carga nominal é menor que 2500 kg é calculada como:

$$F_s = 0,4 * g_n * Q = 0,4 * 9,81 * 630 = 2472,12 N$$

5.10.2.2 Tensão de flexão relativa ao eixo x da guia, devido à força na guia:

$$F_y = \frac{F_s * Y_1 + (P * Y_P * g_n)}{h} = \frac{2472,12 * 732,7 + (500 * 244,23 * 9,81)}{2000} = 1504,64 N \quad (42)$$

$$M_x = \frac{3 * F_y * l}{16} = \frac{3 * 1504,64 * 1000}{16} = 282120 Nmm \quad (43)$$

$$\sigma_x = \frac{M_x}{W_x} = \frac{282120}{9240} = 30,5 MPa \quad (44)$$

5.10.2.3 Flambagem:

No uso normal, em carregamento, não ocorre flambagem.

5.10.2.4 Tensão combinada:

$$\sigma_m = \sigma_x + \sigma_y = 30,5 + 20,9 = 51,4 \leq \sigma_{adm} = 165 MPa \quad (45)$$

5.10.2.5 Flexão do boleto:

$$\sigma_F = \frac{1,85 * F_b}{c^2} = \frac{1,85 * 596,26}{6^2} = 30,64 \leq \sigma_{adm} = 165 MPa \quad (46)$$

5.10.2.6 Deflexões:

$$\delta_x = 0,7 * \frac{F_x * l^3}{48 * E * I_y} = 0,7 * \frac{596,26 * 1000^3}{48 * 200000 * 186500} = 0,23 \leq \delta_{adm} = 5 mm \quad (47)$$

$$\delta_y = 0,7 * \frac{F_y * l^3}{48 * E * I_x} = 0,7 * \frac{1504,64 * 1000^3}{48 * 200000 * 413000} = 0,27 \leq \delta_{adm} = 5 mm \quad (48)$$

5.10.3 Seleção

Através dos cálculos mostrados, é possível perceber que o perfil de guia T 70-1/A atende às exigências da norma para o projeto. Assim, esse perfil será utilizado tanto para a cabina quanto para o contrapeso, uma vez que suas solicitações são menos críticas que as calculadas.

A altura do chão do SG-09 até o mezanino no segundo pavimento é de 3,15 m. Considerando a altura externa da cabina escolhida de 2,2 m, ao final de curso, esta estará a uma altura de 5,35 m do chão, desconsiderando-se o comprimento vertical do poço do elevador. Segundo a seção 6.1.1 da NBR196, o fornecimento recomendado para as guias é de 5 m. Como os valores a serem considerados estão próximos disso, é válida a utilização de apenas uma guia, evitando o uso de talas de junção e facilitando o projeto e sua instalação. As guias serão adquiridas da companhia Monteferro. Através do seu catálogo, presente no Anexo 2, pode-se encontrar o modelo desejado, cujo código da empresa é RF70. A Figura 5.42 retrata o perfil aproximado da guia selecionada:

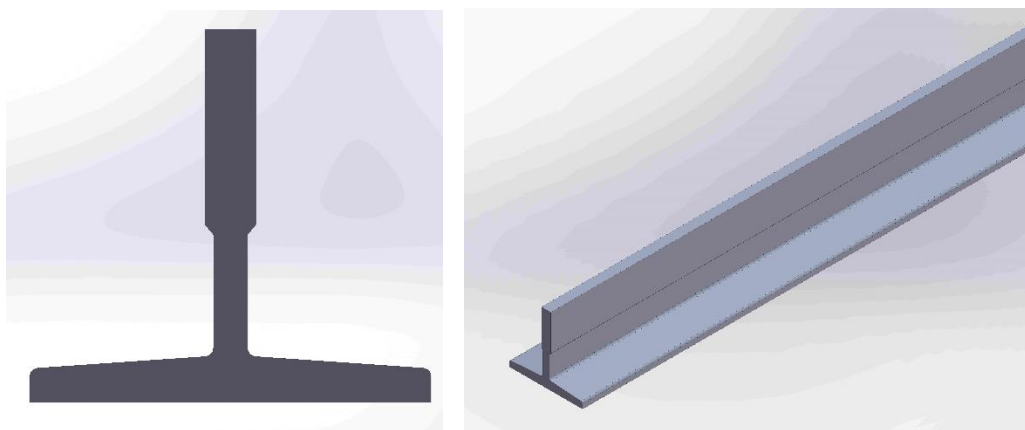


Figura 5.42. Perfil de guia selecionado.

Para garantir que o elevador esteja sempre alinhado às guias, é necessária a utilização de corredeiras, cujos suportes se prendem tanto à cabina quanto ao contrapeso. Dessa forma, foram selecionados os modelos SLG11 da marca Wittur. São projetados para guias de 9 mm, velocidades nominais máximas de 2 m/s e aguentam esforços de até 2000 N. Assim, o posicionamento de dois deles a cada lado da cabina e do contrapeso (em suas extremidades superiores e inferiores) são mais do que o suficiente para suportar as solicitações calculadas anteriormente. Além disso, ainda possuem lubrificação permanente, facilitando sua manutenção. A montagem é realizada diretamente nas paredes da cabina e nas longarinas do contrapeso. A Figura 5.43 ilustra a fixação do componente e de seus espaçadores:

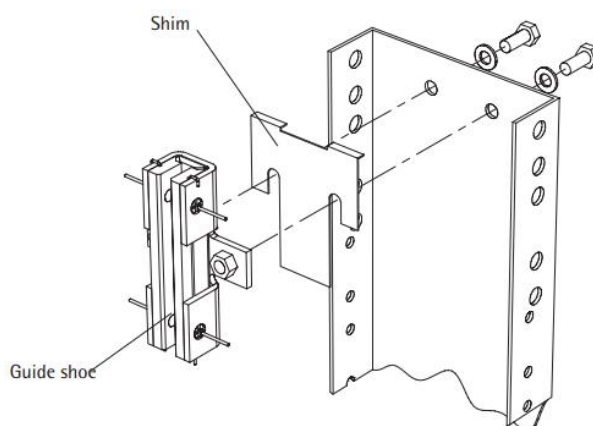


Figura 5.43. Esquema de fixação do suporte das corredeiras. [40]

5.11 PARA-CHOQUES

Segundo a NBR16042, define-se para-choque como um batente resiliente no final do percurso, constituído de meios de retardamento, que usa fluidos, molas ou meios similares. Trata-se do último recurso de segurança em um elevador, podendo se localizar na base da caixa, ou solidários à cabina ou ao contrapeso. Uma vez que a velocidade nominal prevista em projeto é de 0,63 m/s, ou seja, menor que 1,5 m/s, é possível utilizar a configuração mais simples de para-choque, a de acumulação de energia

com características lineares ou não lineares. Os percursos mínimos exigidos pela norma são ilustrados a seguir, onde a curva A representa os amortecedores de acumulação de energia lineares:

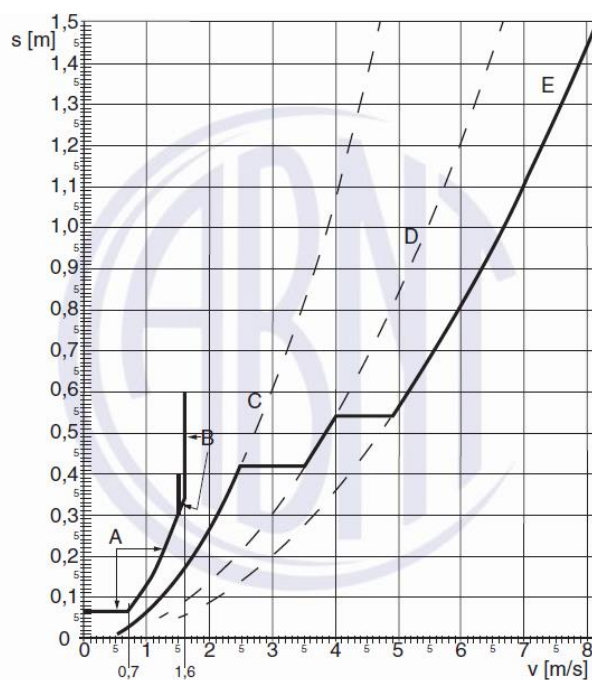


Figura 5.44. Gráfico do percurso mínimo requerido para o para-choque em função de sua velocidade. [11]

Pode-se observar que, para uma velocidade de 0,63 m/s, o percurso mínimo requerido é de pelo o menos 65 mm. A norma diz ainda que o para-choque precisa ser capaz de cumprir tal percurso sob uma carga estática de 2,5 a 4 vezes maior que a massa da cabina carregada, ou do contrapeso. Foi encontrado um modelo de para-choque do tipo mola fabricado pela empresa ALFA. O componente, de código H103437 possui altura de 406 mm, e suporta uma massa máxima de 1250 kg a velocidades de 0,75 m/s. Tal item será usado tanto para a cabina, que cheia possui massa de 1180 kg, quanto para o contrapeso, que possui 759 kg. A Figura 5.45 mostra uma imagem do para-choques:



Figura 5.45. Para-choque do tipo mola selecionado. [38]

5.12 INTERIOR DA CABINA

Nesta seção, serão selecionados os componentes internos da cabina do elevador de acordo com a NBR1994, referente a elevadores para transporte de pessoas portadoras de deficiências físicas.

5.12.1 Botoeira

Deve se localizar ao lado direito de quem entra na cabina, conforme indicado na Figura 5.46:

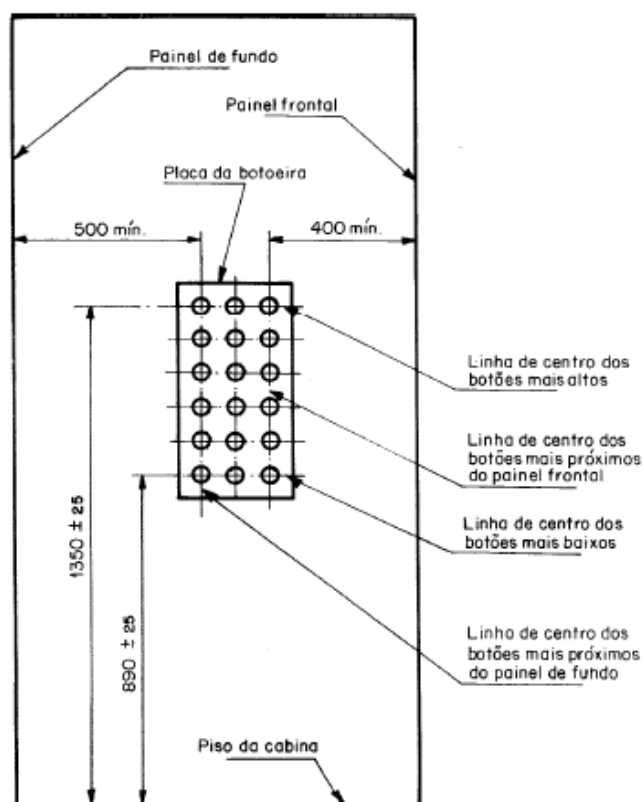


Figura 5.46. Posicionamento da botoeira em relação à parede direita da cabina. [13]

No caso de portas corredeiras laterais cujas folhas se deslocam para a direita ao abrir, deve-se ser instalada uma segunda botoeira no painel lateral esquerdo. Essa condição é encontrada no elevador em questão durante o acesso do primeiro pavimento. Portanto, este deve contar com duas botoeiras, uma em cada painel lateral.

As botoeiras devem conter marcações em braile e o registro de chamadas deve ser tanto visível quanto audível. O indicador de posição da cabina deve ser colocado em sua botoeira ou sobre a abertura de cada porta, para mostrar a posição da cabina no percurso, indicando por caracteres iluminados ou mostrador digital os pavimentos servidos no qual a cabina está parada ou de passagem. Ainda no painel, um sistema de comunicação de duas vias deve ser instalado entre o elevador e um local fora da caixa. Os símbolos na botoeira devem ser de fácil identificação e são mostrados na Figura 5.47:

















| Símbolo | Símbolos em braille |
|--|---|
| Alar me  | AL  (2 celas) |
| Abre porta  | AP  (2 celas) |
| Fecha porta  | FP  (2 celas) |
| Pavimento principal  | PP  (2 celas) |
| Som  | Som  (3 celas) |
| Telefone  | Tel  (3 celas) |
| Ventilador  | Ven  (3 celas) |
| Luz  | Luz  (3 celas) |

Figura 5.47. Símbolos de identificação de comandos. [13]

A botoeira escolhida foi a de modelo Elx 400 da empresa Primac. Tal componente conta, além de indicadores em braille, com painel visualizador de posição e intercomunicador integrado e deve se localizar a 900 mm do piso do elevador. É similar à imagem da Figura 5.48, porém apenas com botões de posição de subida e descida:



Figura 5.48. Botoeira selecionada. [41]

5.12.2 Corrimão

Ainda segundo a norma, seção 5.1.12, elevadores para deficientes devem possuir um corrimão de superfície lisa e não deslizante, fixado aos painéis laterais e no fundo da cabina de modo que a parte superior esteja a uma altura entre 890 mm e 900 mm do piso. Devem possuir seção transversal conforme apresentado na Figura 5.49:

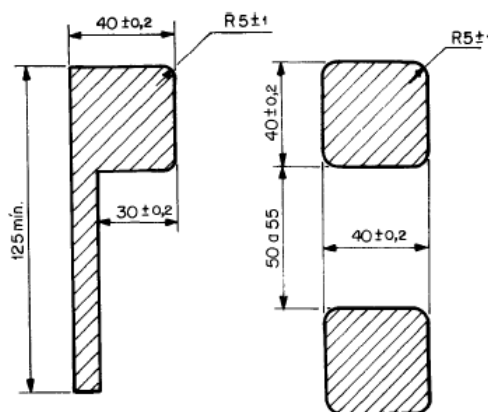


Figura 5.49. Seção transversal do corrimão. [13]

Uma vez que a cabina projetada possui portas nas regiões frontal e traseira, o corrimão estará presente apenas nos painéis laterais. Conforme a NBR 13994, se localizará a 890 mm do chão, com uma distância de 40 mm do painel frontal e 40 mm do painel traseiro. Ele deve ser capaz de suportar uma força de 700 N, aplicada em qualquer posição de sua superfície, sem flexionar-se mais do que 6 mm e sem deformação permanente. O tipo de corrimão selecionado entre os dois apresentados é o da esquerda,

e no Anexo 1 pode-se encontrar simulações que comprovam que o elemento, feito de aço inoxidável e com 2 mm de parede, não falha sob os esforços aplicados.

5.13 Síntese do projeto

Nesta seção será mostrado um breve resumo dos componentes projetados/selecionados para compor o sistema de elevação. Os itens projetados foram a cabina e o contrapeso, concebidos com design simples, materiais comuns comercialmente e visando fácil construção, que pode ser realizada dentro da própria oficina mecânica do SG-09. Quanto aos componentes selecionados, a Tabela 5.9 resume seus respectivos modelos e fabricantes:

Tabela 5.9. Componentes, modelos e fabricantes selecionados.

| Componente | Modelo/Código | Fabricante/Fornecedora |
|--------------------------------|----------------------|-------------------------------|
| Operador de portas | Piuma PLUS 300 | Wittur |
| Máquina de tração | G-400 T1 | Alberto Sassi |
| Cabos de suspensão | 8x19S-AF | CIMAF |
| Polia de desvio | - | HTC |
| Tirantes | WSY-516-12 | Prysmian Group |
| Freio de segurança | LADI-9 | Wittur |
| Limitador de velocidade | L1SC308 | ALFA |
| Polia tensora | NPE 260 | New Parts Elevator |
| Guias | RF70 | Monteferro |
| Corrediças | SLG11 | Wittur |

| | | |
|---------------------|---------|--------|
| Para-choques | H103437 | ALFA |
| Botoeiras | Elx 400 | Primac |

6 CUSTOS

Nessa seção será apresentado um orçamento para o projeto do elevador. Vale ressaltar que não foi possível encontrar os preços de alguns produtos específicos, de forma que os seus valores foram estimados com base em componentes similares.

Tabela 6.1. Orçamento das matérias primas e componentes do elevador.

| Matéria-Prima/ Componente | Finalidade | Quantidade/Tamanho | Fornecedor | Preço (R\$) |
|---|--|---------------------------|--------------------------------------|--------------------|
| Tubo de aço 1045 - 25 X 25 X 3 mm | Estrutura principal | 12 m | Aços Imperial, Tupi Tubos e Aços | 120,00 |
| Chapa de aço inoxidável 430 – 2 mm | Piso, teto, paredes e portas | 2,5 x 8 m | Nova Inox, Amorinox, ACZ Inox | 1.575,00 |
| Chapa de aço 1045 – 2 mm | Suportes, soleiras e suporte do freio | 2 x 1 m | Andrefer, Takono, Fallgatter | 50,00 |
| Chapa de aço 1045 – 3 mm | Protetor de soleira, longarinas do contrapeso | 2 x 1,5 m | Andrefer, Takono, Fallgatter | 345,00 |
| Chapa de aço 1045 – 4,15 mm | Chapa superior | 1 x 1 m | Andrefer, Takono, Fallgatter | 340,00 |
| Chapa de aço 1045 – 7 mm | Cabeçotes do contrapeso | 1 x 0,5 m | Andrefer, Baumann, Takono | 160,00 |
| Chapa de aço 1045 – 8 mm | Caixa da chapa superior | 0,5 x 0,2 m | Aços Imperial, Baumann, Takono | 30,00 |
| Operadores de porta | - | 2 unidades | Wittur LTDA | 3500,00 |
| Motor | - | 1 unidade | Alberto Sassi | 10200,00 |
| Cabos | - | 24 m | Frati, Gemini, Acro | 900,00 |
| Polia de desvio | - | 1 unidade | HTC | 380,00 |

| | | | | |
|------------------------------------|---|------------|--|-----------------|
| Tirantes | - | 6 unidades | Prysmian Group Brasil | 250,00 |
| Freio de segurança | - | 1 unidade | Wittur LTDA | 5000,00 |
| Limitador de velocidade | - | 1 unidade | ALFA | 2000,00 |
| Polia tensora | - | 1 unidade | New Parts Elevator | 370,00 |
| Guias | - | 22 m | Monteferro, Gerdau | 250,00 |
| Corrediças | - | 4 unidades | Wittur LTDA | 300,00 |
| Para-choques | - | 2 unidades | ALFA | 300,00 |
| Botoeira | - | 2 unidades | M&M Elevadores, Elevem, Emergi- Lite | 500,00 |
| Total | - | - | - | 26570,00 |

O total obtido representa apenas o valor das matérias primas e componentes envolvidos em um projeto de elevador. Somados a eles, deve-se considerar custos extras de entrega, impostos e mão de obra de instalação, conforme Tabela 6.2, com porcentagens aproximadas referentes ao valor de cada quesito:

Tabela 6.2. Custos envolvidos no projeto.

| Custo envolvido | Valor (R\$) |
|--|--------------------|
| Matéria Prima | 2620,00 |
| Componentes | 23950,00 |
| Taxa de entrega (10%) | 2657,00 |
| Impostos (18%) | 4782,60 |
| Mão de obra de instalação (25%) | 6642,50 |
| Total | 40652,10 |

O resultado também pode ser visualizado no gráfico da Figura 6.1, com as porcentagens de cada custo diferente em relação ao seu total:

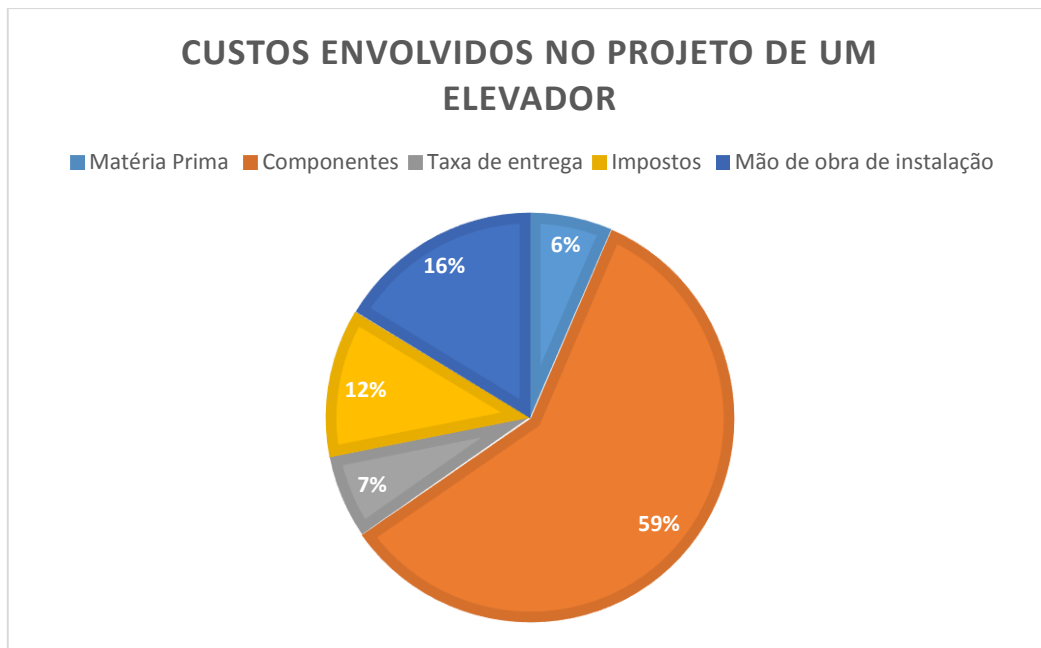


Figura 6.1. Custos envolvidos no projeto de elevador.

Por fim, pode-se calcular o custo operacional do elevador. Admitindo-se que o motor funcione diariamente cerca de 4 horas em sua potência máxima, com um preço do kWh no Distrito Federal de 0,69 centavos, segundo o próprio site da CEB [43], tem-se que:

$$C_o = P_{ot} * t_o * p_r = 2 * 4 * 0,6 = 5,52 \text{ reais} \quad (49)$$

Onde:

C_o é o custo operacional, em reais;

P_{ot} é a potência do motor, em kW;

t_o é o tempo de operação do motor, em horas;

p_r é o preço do kWh no Distrito Federal.

Após contato com a empresa ThyssenKrupp, foi obtido um orçamento para a instalação de um elevador por cerca de R\$60000,00, bem como de uma plataforma de elevação por R\$42000,00. Dessa forma, é possível notar que o elevador proposto no projeto, mesmo não incluindo componentes elétricos, apresenta preço cerca de 32% menor em relação ao encontrado comercialmente.

7 PLATAFORMA DE ELEVAÇÃO

O objetivo da presente seção é apresentar alternativas viáveis à implementação do elevador para o transporte de cadeirantes. Tais alternativas, porém, se limitariam a atender apenas as pessoas com mobilidade reduzida, não contemplando a outra função do elevador, que é o transporte efetivo de carga. O local de instalação seria similar ao do elevador, ou seja, o hall de entrada do edifício. O deslocamento vertical atingido pela plataforma deve ser de pelo o menos 3,15 m, equivalente à altura do segundo pavimento do SG-09.

7.1 PLATAFORMA VERTICAL

Entre os modelos procurados, a plataforma Easy Vertical da companhia ThyssenKrupp atenderia bem à proposta. Sendo do tipo enclausurada, conta com um percurso máximo de 4 m, velocidades de 6 m/min e capacidade de 250 kg. Seu acionamento é hidráulico oleodinâmico. Apresenta uma estrutura composta de vidro laminado e chapas metálicas, podendo ser instalada também dentro de uma caixa de alvenaria, conforme ilustrado pela Figura 7.1, retirada do catálogo da empresa:

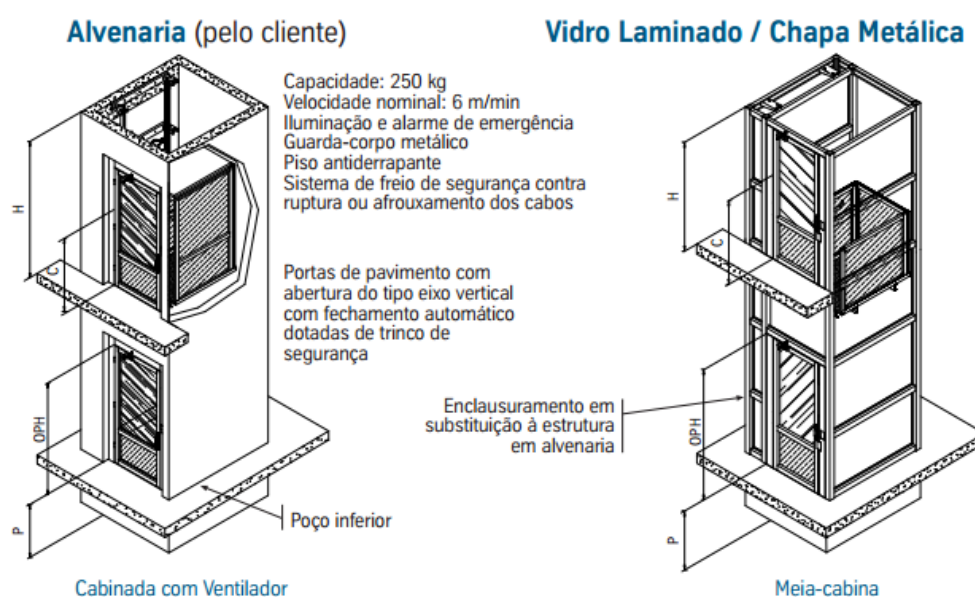


Figura 7.1. Características e opções disponíveis para instalação da plataforma vertical. [42]

Diferente do elevador, a instalação da plataforma não necessitaria que fosse construído um corredor de concreto que fizesse a ligação entre sua caixa e o primeiro pavimento. Por ter altura reduzida e casa de máquinas embutida, o posicionamento da plataforma poderia ser já em frente ao segundo andar.

Entre suas possíveis configurações de acesso está a opção de duas portas opostas, garantindo maior conforto ao cadeirante, ao possibilitar que este se movimente apenas em uma direção ao entrar e sair da plataforma, cujas imagens são mostradas na Figura 7.2:



Figura 7.2. Plataforma Easy Vertical. [42]

7.2 PLATAFORMA INCLINADA

Também da ThyssenKrupp, o modelo de plataforma inclinada Easy Inclined é outra solução para a questão da acessibilidade no SG-09. É projetada para instalação ao lado de escadas retas e de um único lance, o que é o caso da escada presente no hall do prédio. Com um percurso linear máximo de 13 m, capacidade de 225 kg e velocidade de 4 m/min, tal modelo é uma opção mais econômica e de instalação mais simples que a plataforma vertical.

Dentre suas principais características, possui controles sobrepostos nas paradas superior e inferior para chamar ou enviar o carro, além de botão para basculamento, o que faz com que a plataforma se feche e trave, liberando o caminho quando não está em uso. Além disso, para evitar esforços na entrada e saída do cadeirante, braços dobráveis sobem e descem automaticamente quando a máquina chega às extremidades da escada. Na Figura 7.3, podem ser observadas imagens da plataforma disponibilizadas no catálogo da empresa:



Figura 7.3. Plataforma Easy Inclined. [42]

8 CONCLUSÃO

Acessibilidade é um atributo essencial ao ambiente no sentido de fazer com que o portador de deficiência, seja ela qual for, possa viver de forma independente e participar plenamente de todos os aspectos cotidianos. Para que isso ocorra, é preciso eliminar obstáculos físicos, ou modificá-los de forma a garantir plena capacidade de movimentação para os portadores de necessidades especiais. O projeto em questão atende a essa demanda, encontrada no prédio de Serviços Gerais número 09 da Universidade de Brasília, que dispõe apenas de escadas como acesso ao seu segundo pavimento. O elevador, além de ajudar nesse quesito, ainda se mostra uma forma mais eficiente de transporte de carga, principalmente para os laboratórios do local.

A instalação de elevadores em prédios já existentes nem sempre é possível, pois tais sistemas possuem uma série de exigências quanto à disposição do espaço no qual eles serão alocados. Através da análise do hall de entrada do edifício, bem como das exigências que as normas brasileiras vigentes apresentam, concluiu-se ser possível a implementação do projeto no SG-09. Como forma de flexibilizar o posicionamento do sistema, bem como alterar o prédio o mínimo possível, foi escolhida a configuração sem casa de máquinas, cada vez mais utilizadas comercialmente para elevadores de pequeno e médio porte.

Através da análise do cálculo de tráfego, verificou-se que um elevador com capacidade para 8 pessoas ou 630 kg atende à praticamente o dobro da demanda encontrada no prédio, porém, tais requisitos são necessários, uma vez que são os mínimos permitidos de acordo com a NBR13994 para o transporte seguro e confortável de um usuário de cadeira de rodas. Adicionalmente, é sugerida uma configuração de plataforma de elevação para como alternativa ao elevador.

Quanto ao projeto, visando maior vida útil dos cabos de tração e considerando o pequeno percurso vertical necessário, optou-se pela configuração de elevação mais simples, com relação de 1:1 e apenas uma polia de desvio. O design da cabina foi concebido de forma prática, podendo ser facilmente construída dentro da própria oficina do SG-09. Diferentes de algumas configurações comerciais de elevador, ela não possui carro propriamente dito, de forma que os outros subsistemas do conjunto são acoplados diretamente a ela. O motor selecionado foi projetado justamente para aplicação sem casa de máquinas e apresenta uma margem segura de atuação baseado em suas especificações. Cabos, freios e demais componentes de segurança foram cuidadosamente selecionados a fim de garantir confiabilidade ao projeto. O orçamento obtido também mostrou viável a implementação do sistema.

Por fim, outros métodos de transporte foram propostos para resolver a questão do acesso de pessoas com mobilidade reduzida ao segundo pavimento, com a utilização de plataformas verticais ou inclinadas. Estas possuem fácil instalação e são economicamente mais atrativas que um elevador. Com o presente trabalho, o departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Brasília pode escolher a alternativa que melhor se adequa às suas necessidades.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BRASIL. Lei n. 10098, de 19 de dezembro de 2000. Estabelece normas gerais e critérios básicos para a promoção da acessibilidade das pessoas portadoras de deficiência ou com mobilidade reduzida, mediante a supressão de barreiras e de obstáculos nas vias e espaços públicos, no mobiliário urbano, na construção e reforma de edifícios e nos meios de transporte e de comunicação.
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5666**: Elevadores Elétricos. Rio de Janeiro: ABNT, 1977.
- [3] *Nova Elevator Parts*. (24 de junho de 2015). Fonte:
<http://portuguese.elevatorscomponents.com/sale-1853661-machine-room-elevator-cabins-luxury-residential-passenger-cabin.html>
- [4] *Marine Insight*. (24 de junho de 2015). Fonte:
<http://www.marineinsight.com/misc/marine-safety/accidents-at-sea-death-in-the-elevator-shaft/>
- [5] *Elevar - Manutenção e modernização de elevadores*. (24 de junho de 2015). Fonte:
http://www.elevar.com.br/arma_c_peso.htm
- [6] *Direct Industry*. (24 de junho de 2015). Fonte:
<http://www.directindustry.com/prod/yaskawa-europe/product-14471-276128.html>
- [7] *Transvért Elevadores*. (24 de junho de 2015). Fonte:
<http://www.transvert.com.br/produtos.html>
- [8] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 196**: Elevador de Passageiros e Monta-cargas. Guia para carros e contrapesos – Perfil T. Rio de Janeiro: ABNT, 1999.
- [9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14712**: Elevadores elétricos – Elevadores de carga, monta-carga e elevadores de maca – Requisitos de segurança para projeto, fabricação e instalação. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.
- [10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 207**: Elevadores elétricos de passageiros – Requisitos de segurança para construção e instalação. Rio de Janeiro: ABNT, 1999.
- [11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16042**: Elevadores elétricos de passageiros – Requisitos de segurança para construção e instalação de elevadores sem casa de máquinas. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.
- [12] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 267**: Elevadores hidráulicos de passageiros – Requisitos de segurança para construção e instalação. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.
- [13] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13994**: Elevadores de passageiros – Elevadores para transporte de pessoa portadora de deficiência. Rio de Janeiro: ABNT, 2000.

- [14] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9050**: Acessibilidade a Edificações Mobiliário, Espaços e Equipamentos Urbanos. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
- [15] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5665**: Cálculo do tráfego nos elevadores. Rio de Janeiro: ABNT, 1983.
- [16] *Up Center Elevadores Especiais*. (24 de junho de 2015). Fonte: <http://www.upcenter.com.br/noticias/tipos-de-elevadores-residenciais/>
- [17] *Verlag Dashöfer*. (24 de junho de 2015). Fonte: <http://seguranca-na-construcao.dashofer.pt/?s=modulos&v=capitulo&c=7655>
- [18] *Manual de Transporte Vertical em Edifícios*. (s.d.). Fonte: Atlas Schindler: <http://www.schindler.com/content/dam/web/br/PDFs/NI/manual-transporte-vertical.pdf>
- [19] *Mitsubishi Electric*. (25 de Novembro de 2015). Fonte: <http://www.mitsubishielectric.com/elevator/overview/elevators/systems.html>
- [20] *Favorit Aços Especiais*. (25 de Novembro de 2015). Fonte: http://www.favorit.com.br/sites/default/files/tabelas/acos_para_construcao_mecanica_3.html
- [21] *Kloeckner Metals*. (25 de Novembro de 2015). Fonte: Manual Técnico de Aço Inoxidável: <http://www.kloecknermetals.com.br/pdf/3.pdf>
- [22] Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2008). *Elementos de Máquinas de Shigley - Projeto de Engenharia Mecânica*. Nova York: McGrawHill.
- [23] *Screw Center Brooklin*. (25 de Novembro de 2015). Fonte: http://www.screwcenterbrooklin.com.br/parafuso_allen/allen_din7991.htm
- [24] *Rudolph Fixações*. (25 de Novembro de 2015). Fonte: <http://www.rudolphfixacoes.com.br/produtos/Rebites/RC01>
- [25] Catálogo Wittur. (s.d.). *Piuma Plus 300*.
- [26] *Gest Tech*. (25 de Novembro de 2015). Fonte: <http://gesttech.com.br/modernizacao.html>
- [27] Catálogo Alberto Sassi. (25 de Novembro de 2015). *G-400 Gearless*.
- [28] *CIMAF*. (25 de Novembro de 2015). Fonte: http://www.cimafbrasil.com.br/produtos_aplic_02.php?cod=7&alma=3&equipamento=&segmento=6&tipo=1&voltar=/produtos_aplic_01.php#CABO7AF
- [29] *HTS Elevadores*. (25 de Novembro de 2015). Fonte: <http://www.hts.com.br/wp-content/uploads/2014/05/Informativo-Polias-de-Nylon-.pdf>
- [30] *Prysmian Group*. (25 de Novembro de 2015). Fonte: http://www.prysmiangroup.com/en/business_markets/markets/elevator/downloads/technical-documents/Wire-Rope-Install-Guide.pdf
- [31] *Prysmian Group*. (25 de Novembro de 2015). *Catalog 2015*.
- [32] *Ningbo Shenling*. (25 de Novembro de 2015). Fonte: http://www.nbsldt.com/en/products.asp?c_id=128
- [33] ASTM. (25 de Novembro de 2015). *Standard Specification for Steel Forgings, Carbon and Alloy, for General Industrial Use*.
- [34] *Alberto Sassi*. (25 de Novembro de 2015). Fonte: <http://www.sassi.it/page.php?69>
- [35] *Wittur*. (25 de Novembro de 2015). Fonte: <http://www.wittur.com/pt/produtos/sistemas-de-seguranca/ladi.aspx>

- [36] Catálogo Wittur. (25 de Novembro de 2015). *Roller Type Safety Gear*.
- [37] *Google Patents*. (2015 de Novembro de 2015). Fonte:
<https://www.google.com.ar/patents/EP0499379B1?cl=en>
- [38] Alfa Elevadores. (25 de Novembro de 2015). *Catálogo* .
- [39] New Parts Elevator. (25 de Novembro de 2015). *Catálogo*.
- [40] Catálogo Wittur. (25 de Novembro de 2015). *Sliding guide shoes for car frame and counterweight*.
- [41] *Primac*. (25 de Novembro de 2015). Fonte:
<http://www.primac.com.br/index.php/modernizacao/botoeiras-e-displays>
- [42] ThyssenKrupp Elevadores. (25 de Novembro de 2015). *Easy Plataformas Verticais e Inclinadas*.
- [43] *CEB Distribuição*. (27 de Novembro de 2015). Fonte:
<http://www.ceb.com.br/index.php/tarifas>
- [44] *Matweb - Material Property Data*. (24 de junho de 2015). Fonte:
<http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=0cf4755fe3094810963eaa74fe812895&ckck=1>

10 ANEXOS

| | Pág. | |
|----------|--|----|
| Anexo I | Simulações nos componentes do elevador | 86 |
| Anexo II | Catálogos de componentes | 94 |
| AnexoIII | Desenhos Técnicos | 99 |

CABINA

Utilizando o software *Abaqus CAE*, primeiramente foi considerada apenas a estrutura principal da cabina, com seus tubos simulados como elementos de viga. Sua parte superior foi fixada e a carga nominal do elevador aplicada em seu ponto inferior central. Foi obtida uma tensão máxima de von Mises de 290,8 MPa, valor inferior ao limite de escoamento do aço 1045, que é de aproximadamente 530 MPa [44]. Em relação ao deslocamento, o máximo registrado foi de 25 mm, frisando que foi considerada uma carga nominal pontual e concentrada. Os resultados são mostrados nas Figuras 10.1 e 10.2:

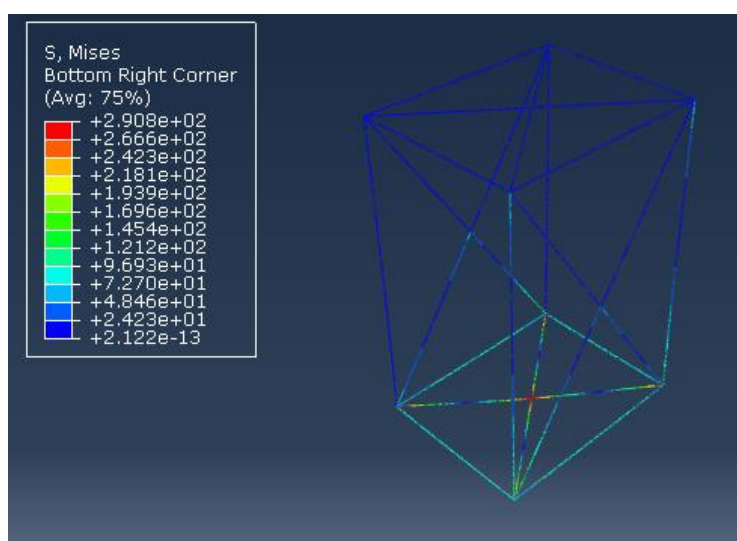


Figura 10.1. Tensão de von Mises na estrutura principal.

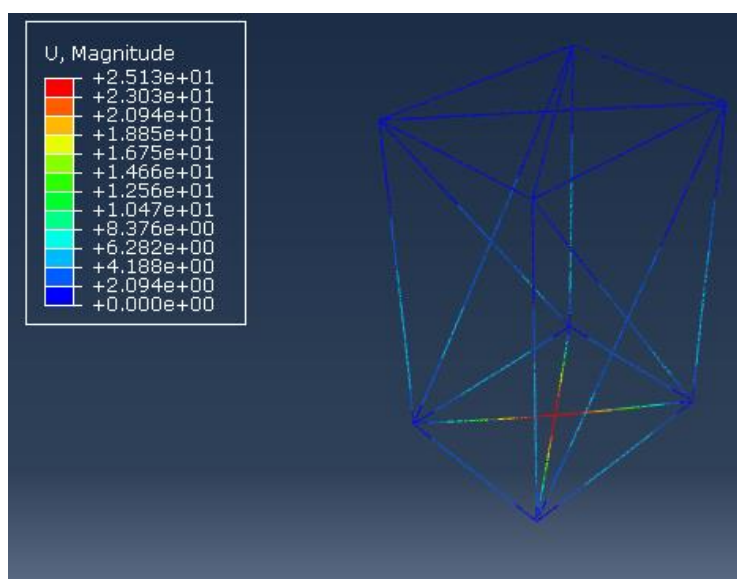


Figura 10.2. Deslocamento na estrutura principal.

Posteriormente, foi realizada uma simulação, ainda com o software *Abaqus CAE*, da carga aplicada ao piso de aço inoxidável já fixado aos seus suportes na estrutura principal da cabina. Dessa vez, o modelo foi considerado como uma montagem de elementos sólidos, diferentes do elemento de viga utilizado nas simulações anteriores. A cabina foi novamente fixada através de sua parte superior e foi escolhida a área considerada mais crítica para aplicação da carga nominal, ou seja, a área do painel mais distante das treliças inferiores da estrutura principal. Vale frisar que a carga dessa vez não é pontual como na simulação anterior. Foram obtidos valores máximos para tensão de von Mises de cerca de 210 MPa, valor abaixo do limite de escoamento do aço inoxidável ferrítico 430, que é de aproximadamente 350 MPa [25]. O deslocamento máximo obtido foi de cerca de 8 mm. Os resultados são mostrados nas Figuras 10.3 e 10.4:

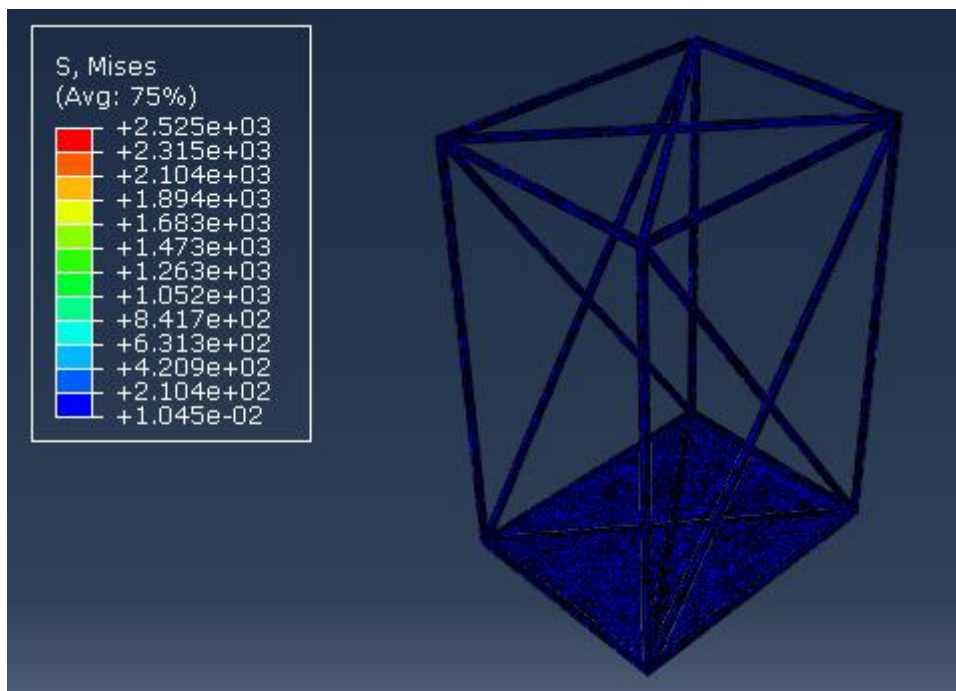


Figura 10.3. Tensão de von Mises no piso da cabina.

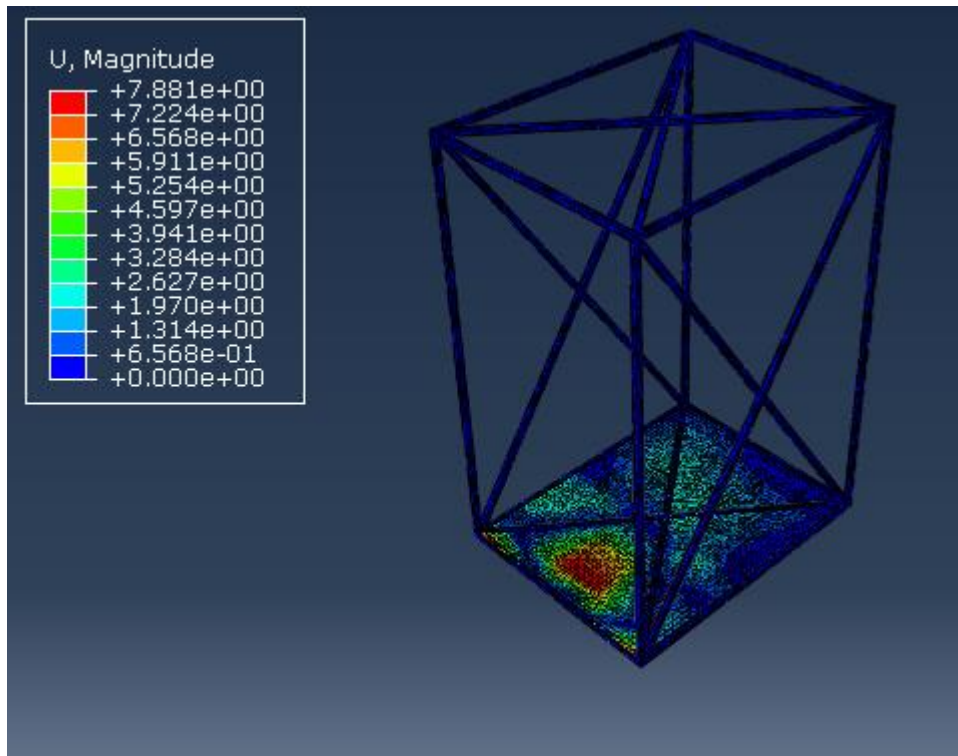


Figura 10.4. Deslocamento no piso da cabina.

Segundo a NBR16042, seção 8.3.2.1, cada parede do elevador deve ser capaz de aguentar a aplicação de uma força de 300 N em uma superfície de 5 cm², resistindo sem deformação elástica superior a 15 mm. Como as paredes direita e esquerda da cabina projetada são idênticas, uma delas foi selecionada para simulação, feita através do software *SolidWorks*. Uma vez que o aço escolhido não foi encontrado como material na biblioteca do software, foi selecionado o aço inoxidável com limite de escoamento imediatamente inferior, que é de 340 MPa. Foi feito um modelo contendo o painel de aço inox e as duas barras de metal que representam o “X” da estrutura principal. A carga foi aplicada longe dessas barras e o resultado obtido ficou abaixo do limite de escoamento do material, com um deslocamento máximo de 0,5 mm, conforme observado nas Figuras 10.5 e 10.6:

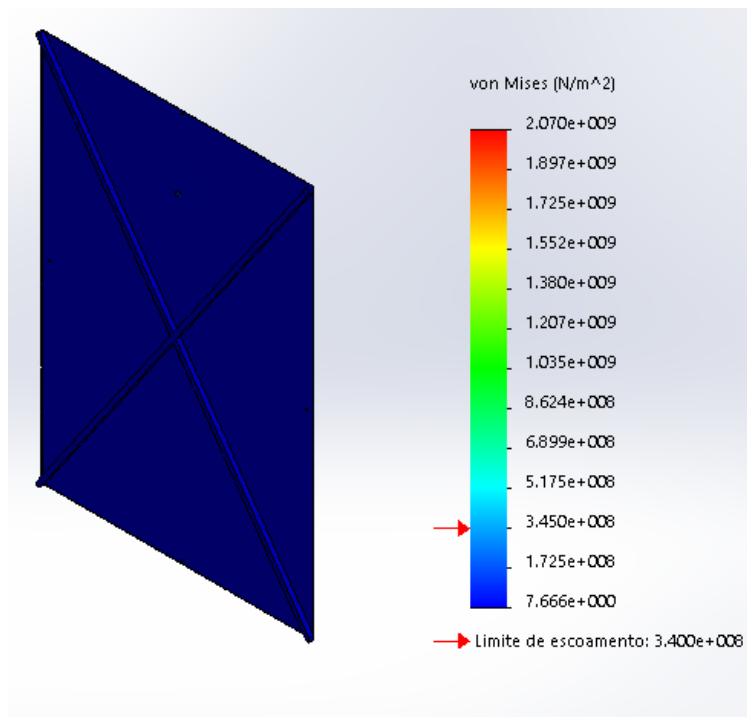


Figura 10.5. Tensão de von Mises na parede.

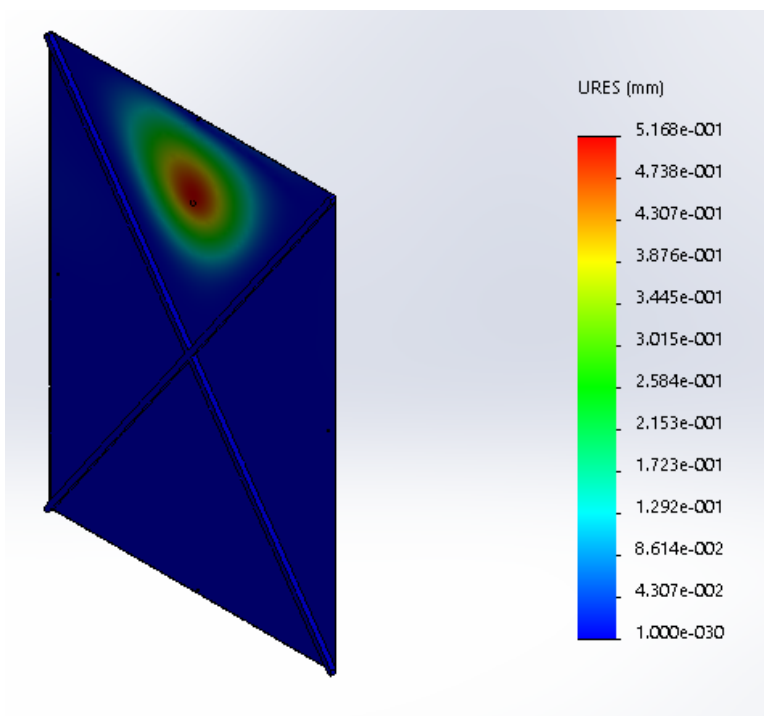


Figura 10.6. Deslocamento na parede.

Foi realizada também simulação na chapa superior da cabina, a fim de confirmar se essa seria apta a suportar os esforços trativos dos cabos de suspensão. Assim, os furos de sua base foram fixados, bem como sua região central inferior, que se encontra soldada à estrutura principal. Uma força referente ao peso da cabina em capacidade plena foi aplicada verticalmente para cima nos furos onde se encontram os tirantes. As tensões máximas encontradas foram de cerca de 296 MPa, menores que o limite de

escoamento do material fornecido pelo software, 530 MPa. O deslocamento foi mínimo, de cerca de 0,2 mm. As Figuras 10.7 e 10.8 mostram os resultados obtidos:

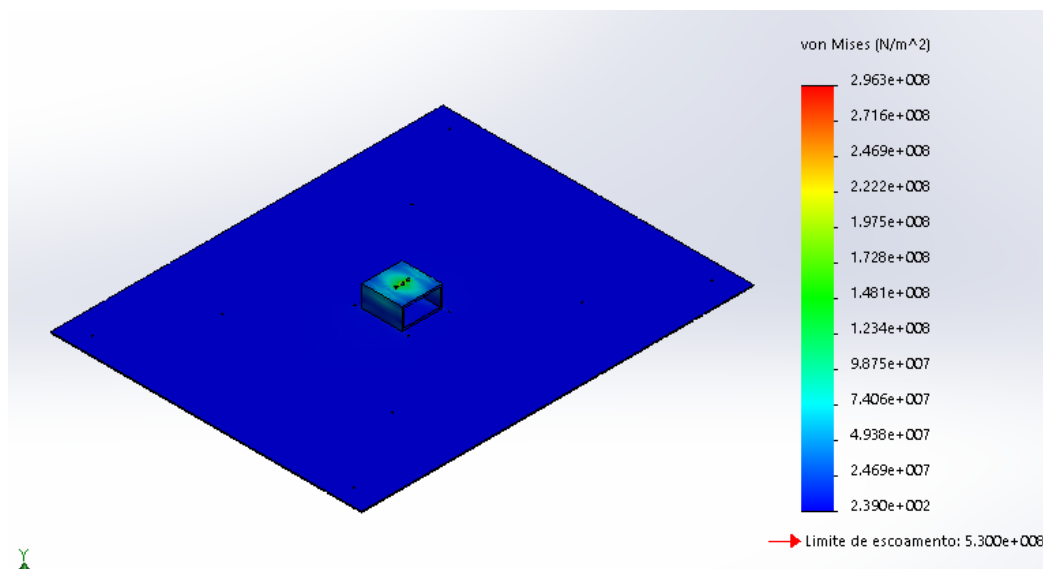


Figura 10.7. Tensão de von Mises na chapa superior.

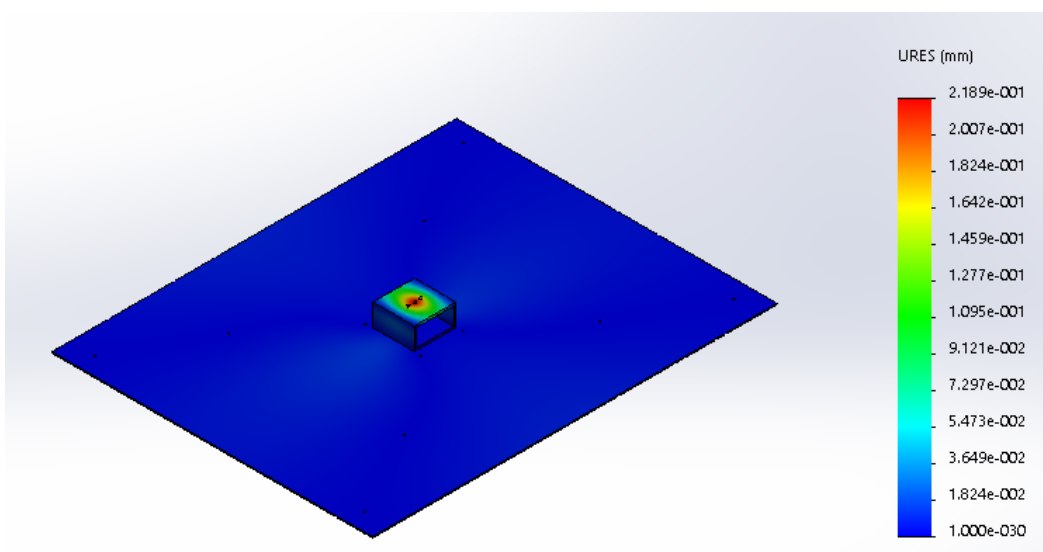


Figura 10.8. Deslocamento na chapa superior.

CONTRAPESO

Simulação similar foi realizada com o contrapeso, a fim de se certificar que sua estrutura aguentaria as cargas a ela solicitadas. Tal estrutura foi fixada nos furos conectados aos tirantes e força equivalente à massa do contrapeso aplicada em sua base. As tensões máximas obtidas foram de 363 MPa, inferiores ao limite de escoamento do aço 1045, que é de 530 MPa. O deslocamento máximo foi de cerca de 7 mm. As figuras 10.9 e 10.10 mostram os resultados obtidos:

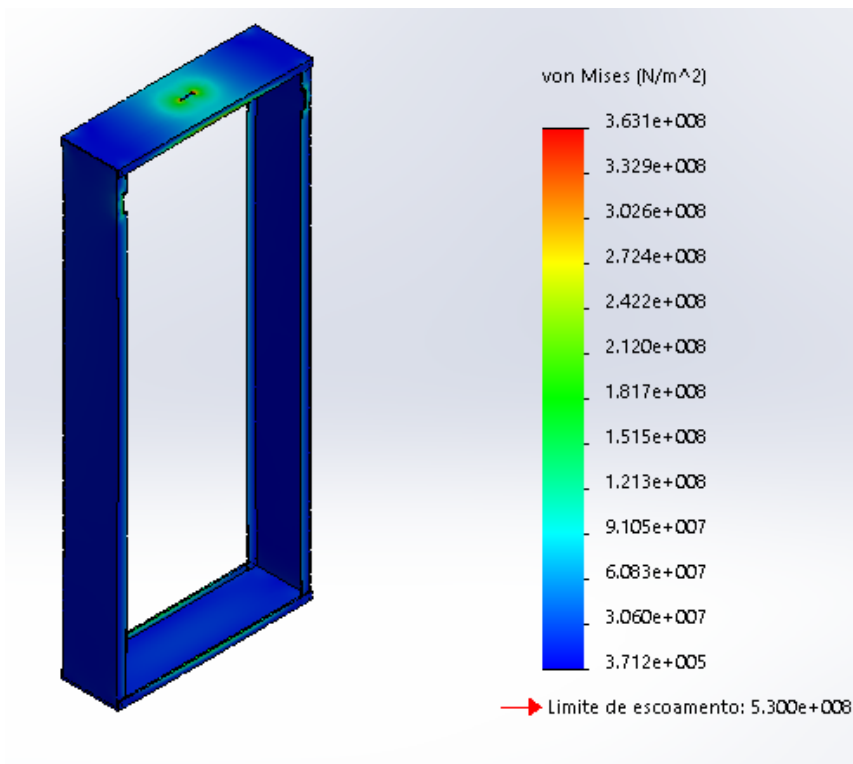


Figura 10.9. Tensão de von Mises no contrapeso.

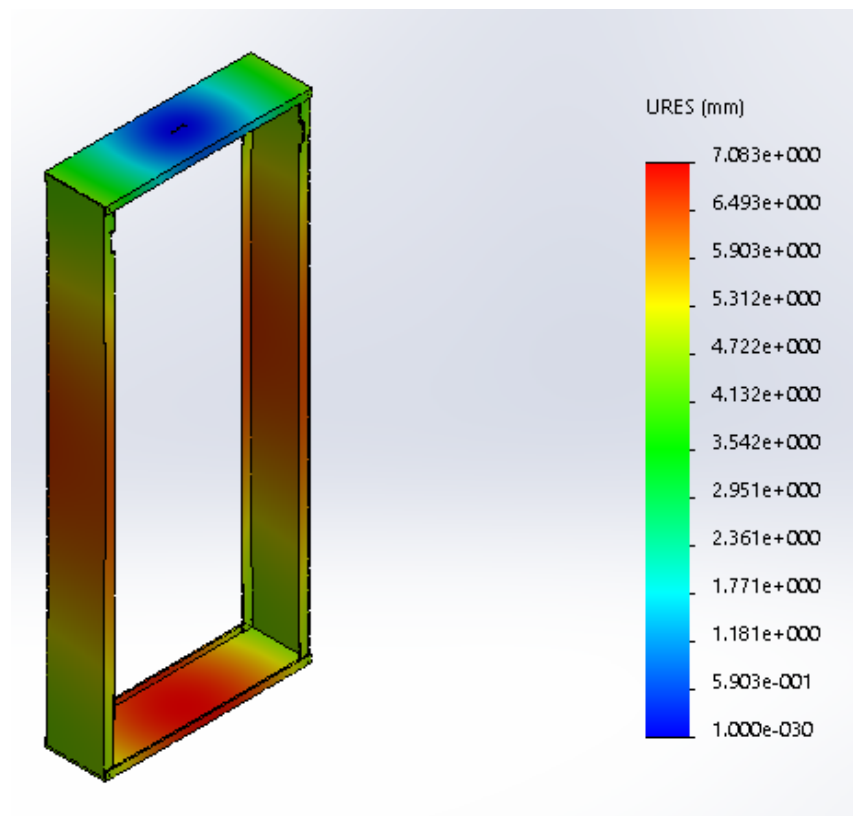


Figura 10.10. Deslocamento no contrapeso.

CORRIMÃO

Por fim, foi realizada uma simulação no corrimão, onde uma carga de 700 N foi aplicada sob uma superfície de 7 x 6 mm, simulando uma palma de mão humana. As tensões máximas obtidas foram de cerca de 85 MPa, bem abaixo do limite de escoamento do aço inoxidável utilizado, que é de 340 MPa. O deslocamento máximo foi de menos de 1 mm, sendo que, de acordo com a norma, não poderia ultrapassar 6 mm. As Figuras 10.11 e 10.12 mostra os resultados obtidos:

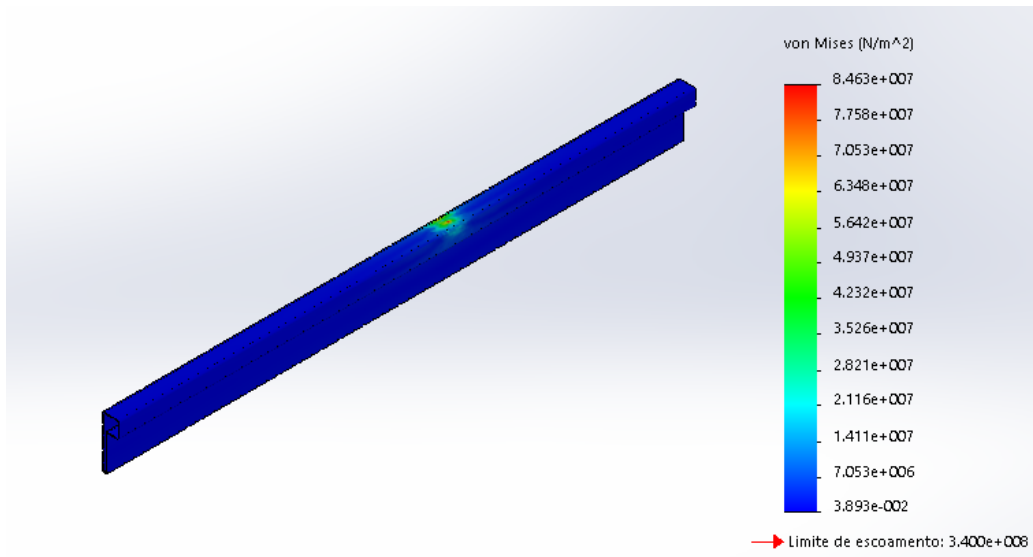


Figura 10.11. Tensão de von Mises no corrimão.

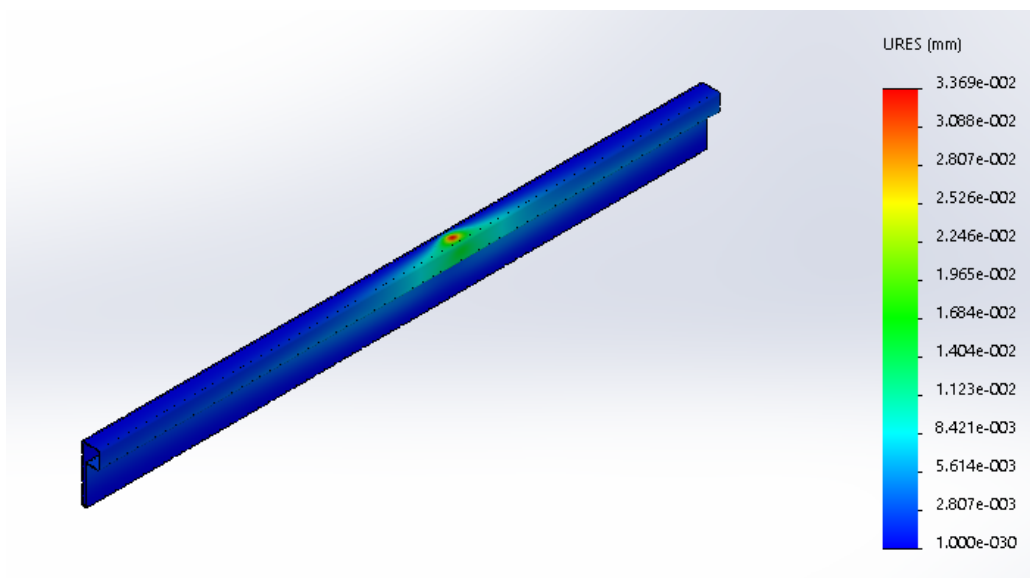


Figura 10.12. Deslocamento no corrimão.

Vale frisar que as simulações realizadas não levaram em consideração os efeitos das forças dinâmicas de aceleração e retardo sofridas pelo elevador em virtude de serem muito pequenas em comparação aos esforços sofridos devido ao seu próprio peso, conforme mostrado a seguir:

$$a = \frac{v}{t} = \frac{0,63}{2,5} = 0,252 \text{ s} \quad (50)$$

$$F = m * a = 1130 * 0,252 = 284,76 \text{ N} \quad (51)$$

Nas equações acima, foram usadas a velocidade nominal do elevador e o tempo de aceleração e retardamento considerados pela NBR5665, que trata do cálculo de tráfego nos elevadores. As forças decorrentes do processo de aceleração ou frenagem do elevador são de 284,76 N, valor correspondente a apenas 2,6% do valor referente ao peso da cabina plenamente carregada, que é de 11085,3 N. Portanto, tais efeitos dinâmicos não foram considerados para cálculo, uma vez que as margens de segurança obtidas através das simulações já se mostram suficientes para garantir a integridade do elevador.

MOTOR

G-400 Gearless

G-400 T1
 Con e senza ventole di raffreddamento / With and without cooling fans

| | | | | | | |
|---|-------------------------------|------------------|--|-------------------------------------|------------------------|------------------|
| Carico statico / Static load | 3000 kg | | | | | |
| Coppia / Nominal torque | 650 Nm | | | | | |
| Peso / Weight | 245 kg | | | | | |
| Portata / Duty load [kg] | 480 | 630 | 630 | 800 | 1000 | 1250 |
| Tiro / Suspension | 1/1 | 1/1 | 2/1 | 2/1 | 2/1 | 2/1 |
| Gamma velocità cabina Range of cabin speed [m/s] | 0.63 - 2.50 | 0.63 - 2.50 | 0.63 - 2.50 | 0.63 - 2.50 | 0.63 - 2.00 | 0.63 - 2.00 |
| Gamma Ø pulegge Range sheave Ø [mm] | 210 - 240 320 360 - 400 | 210 - 240 320 | 210 - 240 320 - 360 400 - 450 480 - 520 - 560 | 210 - 240 320 - 360 400 - 450 | 210 - 240 320 - 360 | 210 - 240 320 |

| A | L | Am | Lm | B | C | E | W | H | D | Ø |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---------|
| 215 | 670 | 259 | 714 | 270 | 124 | 270 | 330 | 444 | 120 | 210/450 |

Tipologia macchina

G400-T1

Note

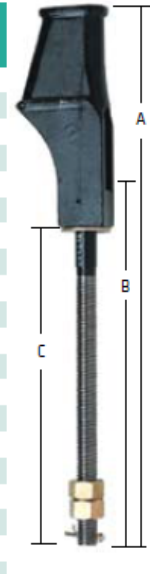
G-400 T1 senza ventilazione /without fan

rev. 04/2014

TIRANTES

Wire rope wedge sockets

| Part Number | Rope size Inches • mm | Dim (A) nom Inches • mm (+/- 3/16 • 5) | Dim (B) nom Inches • mm (+/- 3/16 • 5) | Thread and Diameter | Usable Thread min Inches • mm | Dim (C) nom Inches • mm (+/- 3/8 • 10) |
|-------------|---------------------------|--|--|------------------------|----------------------------------|--|
| WSY-516-12 | 5/16 • 8 | 17-1/2 • 445 | 12-19/32 • 320 | M12 | 7-7/8 • 200 | 8-27/32 • 225 |
| WSY-516-18 | 5/16 • 8 | 23-3/4 • 605 | 18-7/8 • 480 | M12 | 9-13/16 • 250 | 10-13/16 • 275 |
| WSY-516-24 | 5/16 • 8 | 30-1/8 • 765 | 24-3/16 • 640 | M12 | 15-3/4 • 400 | 16-23/32 • 425 |
| WSY-38-12 | 3/8 • 9 to 10 | 17-1/2 • 445 | 12-19/32 • 320 | M12 | 7-7/8 • 200 | 8-27/32 • 225 |
| WSY-38-18 | 3/8 • 9 to 10 | 23-3/4 • 605 | 18-7/8 • 480 | M12 | 9-13/16 • 250 | 10-13/16 • 275 |
| WSY-38-24 | 3/8 • 9 to 10 | 30-1/8 • 765 | 24-3/16 • 640 | M12 | 15-3/4 • 400 | 16-23/32 • 425 |
| WSY-12-12-A | 7/16 to 1/2 • 11 to 13 | 18 • 457 | 12-19/32 • 320 | M20 | 7-7/8 • 200 | 8-27/32 • 225 |
| WSY-12-18-A | 7/16 to 1/2 • 11 to 13 | 24-3/8 • 619 | 18-7/8 • 480 | M20 | 9-13/16 • 250 | 10-13/16 • 275 |
| WSY-12-24-A | 7/16 to 1/2 • 11 to 13 | 30-5/8 • 778 | 24-3/16 • 640 | M20 | 15-3/4 • 400 | 16-23/32 • 425 |
| WSY-12-30-A | 7/16 to 1/2 • 11 to 13 | 36-7/8 • 937 | 30-1/2 • 800 | M20 | 15-3/4 • 400 | 16-23/32 • 425 |
| WSY-12-36-A | 7/16 to 1/2 • 11 to 13 | 43-1/4 • 1099 | 36-13/16 • 960 | M20 | 15-3/4 • 400 | 16-23/32 • 425 |
| WSY-58-12 | 9/16 to 5/8 • 14 to 16 | 19-3/4 • 502 | 12-19/32 • 320 | M20 | 7-7/8 • 200 | 8-27/32 • 225 |
| WSY-58-18 | 9/16 to 5/8 • 14 to 16 | 26-1/8 • 664 | 18-7/8 • 480 | M20 | 9-13/16 • 250 | 10-13/16 • 275 |
| WSY-58-24 | 9/16 to 5/8 • 14 to 16 | 32-3/8 • 822 | 24-3/16 • 640 | M20 | 15-3/4 • 400 | 16-23/32 • 425 |
| WSY-58-30 | 9/16 to 5/8 • 14 to 16 | 38-3/4 • 984 | 30-1/2 • 800 | M20 | 15-3/4 • 400 | 16-23/32 • 425 |
| WSY-58-36 | 9/16 to 5/8 • 14 to 16 | 45 • 1143 | 36-13/16 • 960 | M20 | 15-3/4 • 400 | 16-23/32 • 425 |
| WSY-34-12 | 11/16 to 3/4 • 17.5 to 19 | 21-1/4 • 540 | 12-19/32 • 320 | M24 | 7-7/8 • 200 | 8-27/32 • 225 |
| WSY-34-18 | 11/16 to 3/4 • 17.5 to 19 | 27-1/2 • 699 | 18-7/8 • 480 | M24 | 9-13/16 • 250 | 10-13/16 • 275 |
| WSY-34-24 | 11/16 to 3/4 • 17.5 to 19 | 33-3/4 • 857 | 24-3/16 • 640 | M24 | 15-3/4 • 400 | 16-23/32 • 425 |
| WSY-34-30 | 11/16 to 3/4 • 17.5 to 19 | 39-3/4 • 1010 | 30-1/2 • 800 | M24 | 15-3/4 • 400 | 16-23/32 • 425 |
| WSY-34-36 | 11/16 to 3/4 • 17.5 to 19 | 46-1/4 • 1175 | 36-13/16 • 960 | M24 | 15-3/4 • 400 | 16-23/32 • 425 |



Each wedge socket consists of the socket, rod, wedge, 2 nuts, 1 washer, 1 cotter pin and 2 retaining clips.

Draka wedge sockets are tested with steel core (IWRC) wire rope and exceed ASME A17.1 Rule 2.20.9 and all other applicable safety codes.

Component Specifications:

- Socket: Cast steel ASTM-A27, Grade 60-30 stress relieved
- Rod: Rolled or forged steel ASTM 668
- Wedge: Cast steel ASTM-A27, Grade 60-30

Rope isolation bushing springs - assemblies and components

| Part Number | Size and Description Inches • mm | Spring length Inches • mm | Spring O.D. Inches • mm | Spring I.D. Inches • mm |
|---------------|---|------------------------------|---------------------------------|------------------------------|
| WS-SA-38 | 5/16 to 3/8 • 8 to 10 complete assembly | n/a | n/a | n/a |
| WS-SA-12-A | 7/16 to 1/2 • 11 to 13 complete assembly | n/a | n/a | n/a |
| WS-SA-58 | 9/16 to 5/8 • 14 to 16 complete assembly | n/a | n/a | n/a |
| WS-SA-34 | 11/16 to 3/4 • 17.5 to 19 complete assembly | n/a | n/a | n/a |
| WS-IBUSH-38 | 5/16 to 3/8 • 8 to 10 bushing | n/a | n/a | n/a |
| WS-IBUSH-12-A | 7/16 to 1/2 • 11 to 13 bushing | n/a | n/a | n/a |
| WS-IBUSH-58 | 9/16 to 5/8 • 14 to 16 bushing | n/a | n/a | n/a |
| WS-IBUSH-34 | 11/16 to 3/4 • 17.5 to 19 bushing | n/a | n/a | n/a |
| WS-SPR-38 | 5/16 to 3/8 • 8 to 10 bushing spring | 4-13/16 • 122 (+/- 1/8 • 3) | 1-5/16 • 33 (+/- 1/32 • 0.6) | 11/16 • 17 (+/- 1/32 • 0.6) |
| WS-SPR-12 | 7/16 to 1/2 • 11 to 13 bushing spring | 6-1/8 • 156 (+/- 9/64 • 3.5) | 1-15/16 • 49.2 (+/- 1/32 • 0.7) | 1 • 25.5 (+/- 1/32 • 0.7) |
| WS-SPR-58 | 9/16 to 5/8 • 14 to 16 bushing spring | 6-7/8 • 176 (+/- 1/8 • 3) | 2-1/2 • 64 (+/- 1/16 • 1.5) | 1-1/4 • 32 (+/- 1/16 • 1.5) |
| WS-SPR-34 | 11/16 to 3/4 • 17.5 to 19 bushing spring | 7-1/16 • 178 (+/- 5/32 • 4) | 3-11/32 • 85 (+/- 3/32 • 2.5) | 2-9/16 • 65 (+/- 3/32 • 2.5) |
| WS-BUSH-38 | 5/16 to 3/8 • 8 to 10 bushing washer | n/a | n/a | n/a |
| WS-BUSH-12-A | 7/16 to 1/2 • 11 to 13 bushing washer | n/a | n/a | n/a |
| WS-BUSH-58 | 9/16 to 5/8 • 14 to 16 bushing washer | n/a | n/a | n/a |
| WS-BUSH-34 | 11/16 to 3/4 • 17.5 to 19 bushing washer | n/a | n/a | n/a |

Isolation bushing spring assemblies include 1 spring, 3 bushings and 2 washers. They DO NOT include the wedge socket.

Springs measured when relaxed.

- Socket: Cast steel ASTM-A27, Grade 60-30 stress relieved
- Rod: Rolled or forged steel ASTM 668
- Wedge: Cast steel ASTM-A27, Grade 60-30

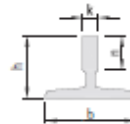


FREIO DE SEGURANÇA

| Produktcode Product code | v [m/s] | v _{max} [m/s] | gezogen drawn | gehobelt machined | geölt oiled | trocken dry | F _{max} (P) (P+Q) [kg] | Q [kg] | Bremskraft (P) Braking force [N] | k [mm] | n [mm] |
|-----------------------------|------------|---------------------------|------------------|----------------------|----------------|----------------|------------------------------------|---------------|-------------------------------------|---------------|-----------|
| LADI-9 | ≤ 0,63 | ≤ 1,0 | ✓ | | ✓ | | ≤ 1671 | 225 - 630 | 7400 - 12750 | 8,9,10 | ≥ 25 |
| LADI-14 | | | ✓ | | ✓ | | ≤ 2089 | 225 - 1000 | 7400 - 15300 | 12 | ≥ 30 |
| | | | ✓ | | ✓ | | ≤ 1332 | | 7400 - 12000 | 14 | ≥ 30 |
| | | | ✓ | | ✓ | | ≤ 1538 | | 7400 - 12750 | 16 | ≥ 30 |
| | | | ✓ | | ✓ | | ≤ 1622 | | 350 - 1000 | 12500 - 17000 | 12 |
| LADI-16 | | | ✓ | | | ✓ | 450 - 1000 | 12500 - 14000 | | | |
| | | | ✓ | | ✓ | | 350 - 1350 | 12500 - 23500 | 14,15, 16 | ≥ 32 | |
| | | | ✓ | | | ✓ | 450 - 2000 | 12500 - 33000 | | | |
| | ✓ | | ✓ | | ≤ 4269 | | | | | | |

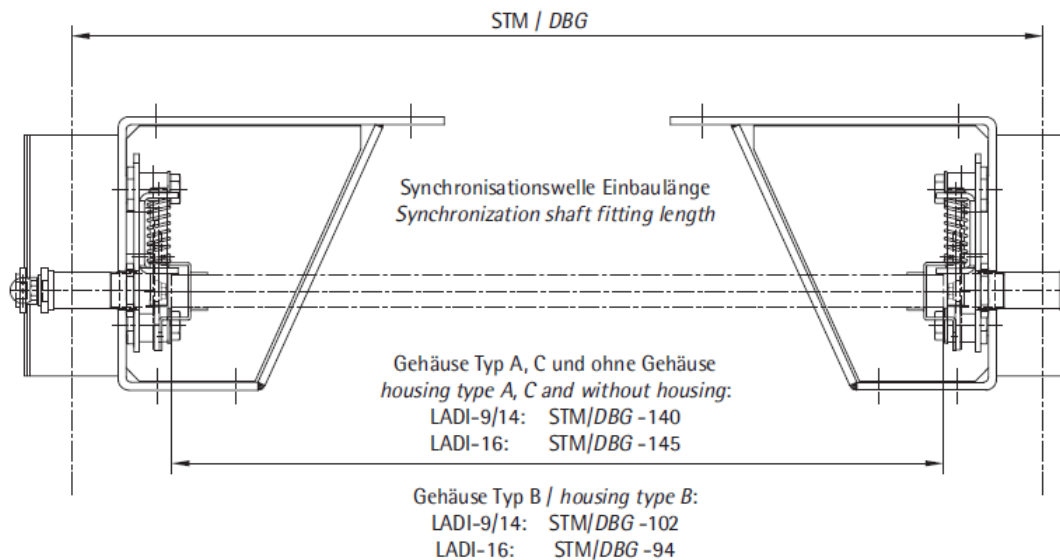
v_{max} Auslösgeschwindigkeit
F_{max} Zu bremsende Gesamtmasse
k Schienenkopfdicke
n Laufflächenbreite

Tripping speed
Mass to be gripped
Width of rail head
Width of guide rail running surface

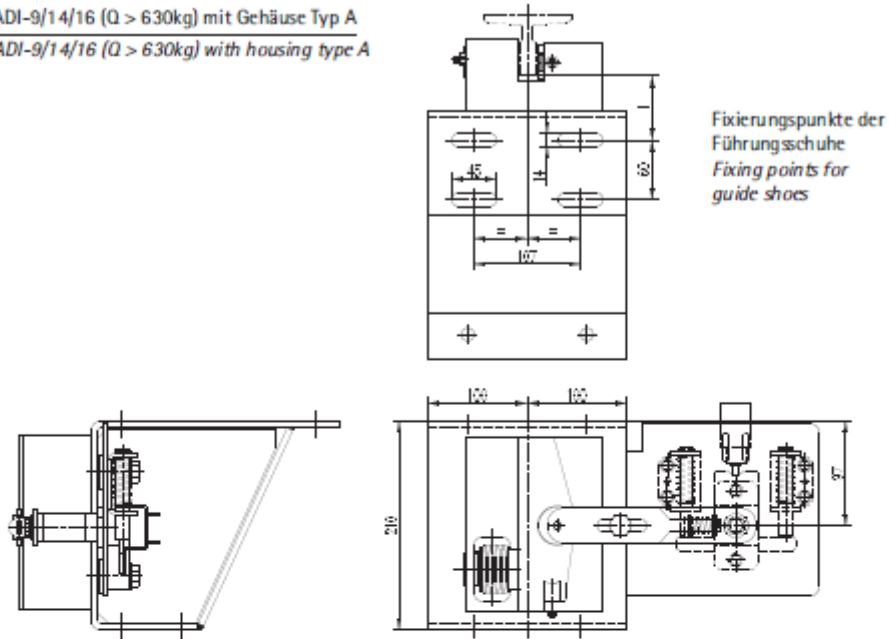


Synchronisationswelle Abmessungen
Synchronization shaft dimensions

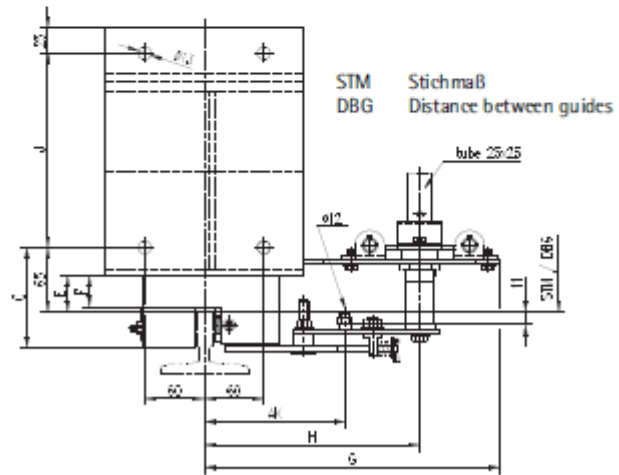
Vierkantrohr / S355J0 / □ 25 x 3
square pipe / S355J0 / □ 25 x 3



3.1.3 LADI-9/14/16 (Q > 630kg) mit Gehäuse Typ A
 LADI-9/14/16 (Q > 630kg) with housing type A



| Maß dimension (mm) | LADI-9 LADI-14 | LADI-16 |
|-----------------------|-------------------|---------|
| C | 95 | 101 |
| E | 32 | 36 |
| F | 27 | 31 |
| G | 286 | 295 |
| H | 196 | 210 |
| I | 57 | 61 |
| J | 198 | 196 |
| M | 11 | 15 |
| P | 37 | 43 |
| AK | 120 | 135 |



PLATAFORMA VERTICAL

PLATAFORMA ELEVATÓRIA VERTICAL - HIDRÁULICA ACIMA DE 2,0 m ATÉ 4,0 m

| Enclausurada | Acessos / entradas | Dim. internas - meia cabina | | | Dim. internas - poço | | | Portas | | Últ. parada |
|---|------------------------|-----------------------------|------|------|----------------------|------|-----|--------|----------|-------------|
| | | A | B | C | X | Y | P | LU | OPH inf. | H (min.) |
| Vidro Panorâmico ou Chapa Metálica (pela TKE) | Unilaterais (padrão) | 800 | 1400 | 1100 | 1340 | 1620 | 100 | 800 | 2000 | 2200 |
| | | 900 | | | 1440 | | | 900 | | |
| | Unilaterais (opcional) | 800 | 1250 | | 1340 | 1470 | | 800 | | |
| | | 900 | | | 1440 | | | 900 | | |
| | Opostos (padrão) | 800 | 1400 | | 1340 | 1550 | | 800 | | |
| | | 900 | | | 1440 | | | 900 | | |
| | Opostos (opcional) | 800 | 1250 | | 1340 | 1400 | | 800 | | |
| | | 900 | | | 1440 | | | 900 | | |
| Adjacentes (90°) | 1400 | 1100 | 1700 | 1640 | 900 | | | | | |

Obs1: se plataforma externa, com telhado/cobertura, última parada mínima = 2400 mm (cota H)

Obs2: quando instalação sobre o piso (com rampa metálica), adicionar 100 mm na cota H

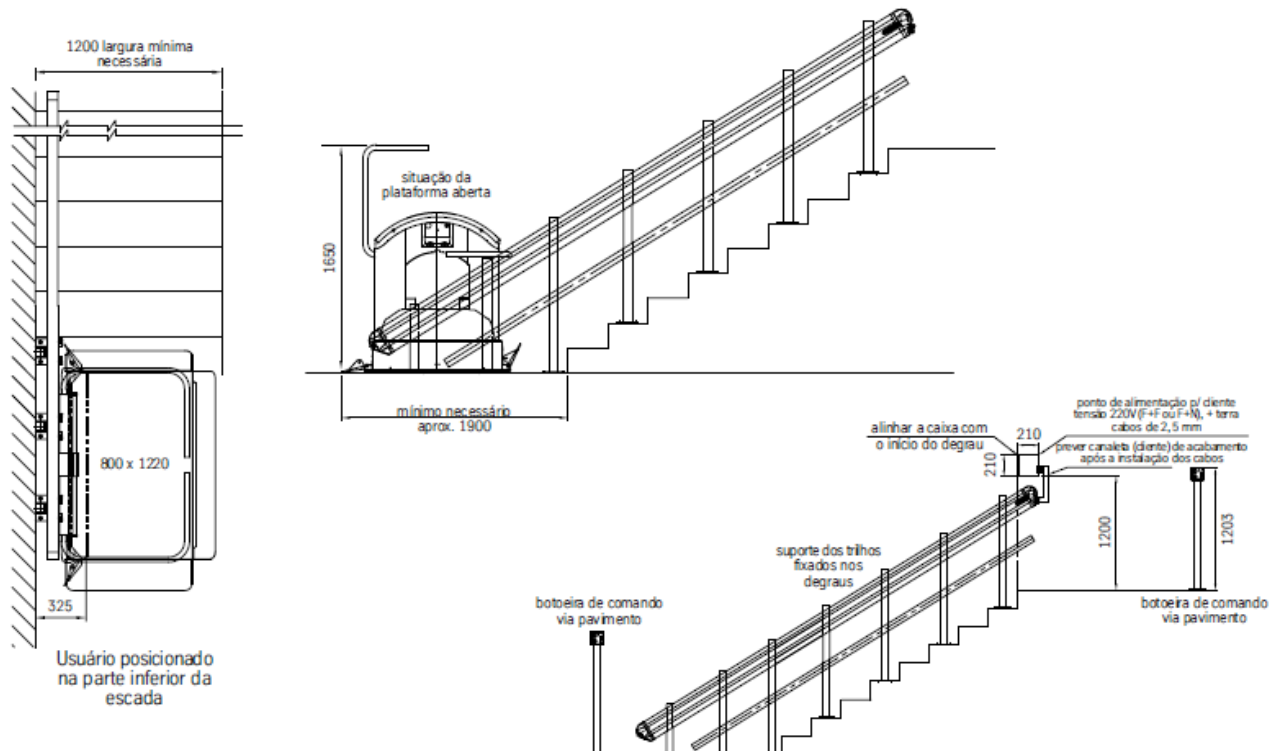
PLATAFORMA ELEVATÓRIA VERTICAL - HIDRÁULICA ACIMA DE 2,0 m ATÉ 4,0 m

| Enclausurada | Acessos / entradas | Dim. internas - cabina | | | Dim. internas - poço | | | Portas | | Últ. parada |
|--------------------------|------------------------|------------------------|------|------|----------------------|------|-----|--------|----------|-------------|
| | | A | B | C | X | Y | P | LU | OPH inf. | H (min.) |
| Alvenaria (pelo cliente) | Unilaterais (padrão) | 800 | 1400 | 2080 | 1260 | 1500 | 100 | 800 | 2000 | 2400 |
| | | 900 | | | 1360 | | | 900 | | |
| | Unilaterais (opcional) | 800 | 1250 | | 1260 | 1350 | | 800 | | |
| | | 900 | | | 1360 | | | 900 | | |
| | Opostos (padrão) | 800 | 1400 | | 1260 | 1460 | | 800 | | |
| | | 900 | | | 1360 | | | 900 | | |
| | Opostos (opcional) | 800 | 1250 | | 1260 | 1310 | | 800 | | |
| | | 900 | | | 1360 | | | 900 | | |
| Adjacentes (90°) | 1100 | 1400 | 1550 | 1590 | 900 | | | | | |

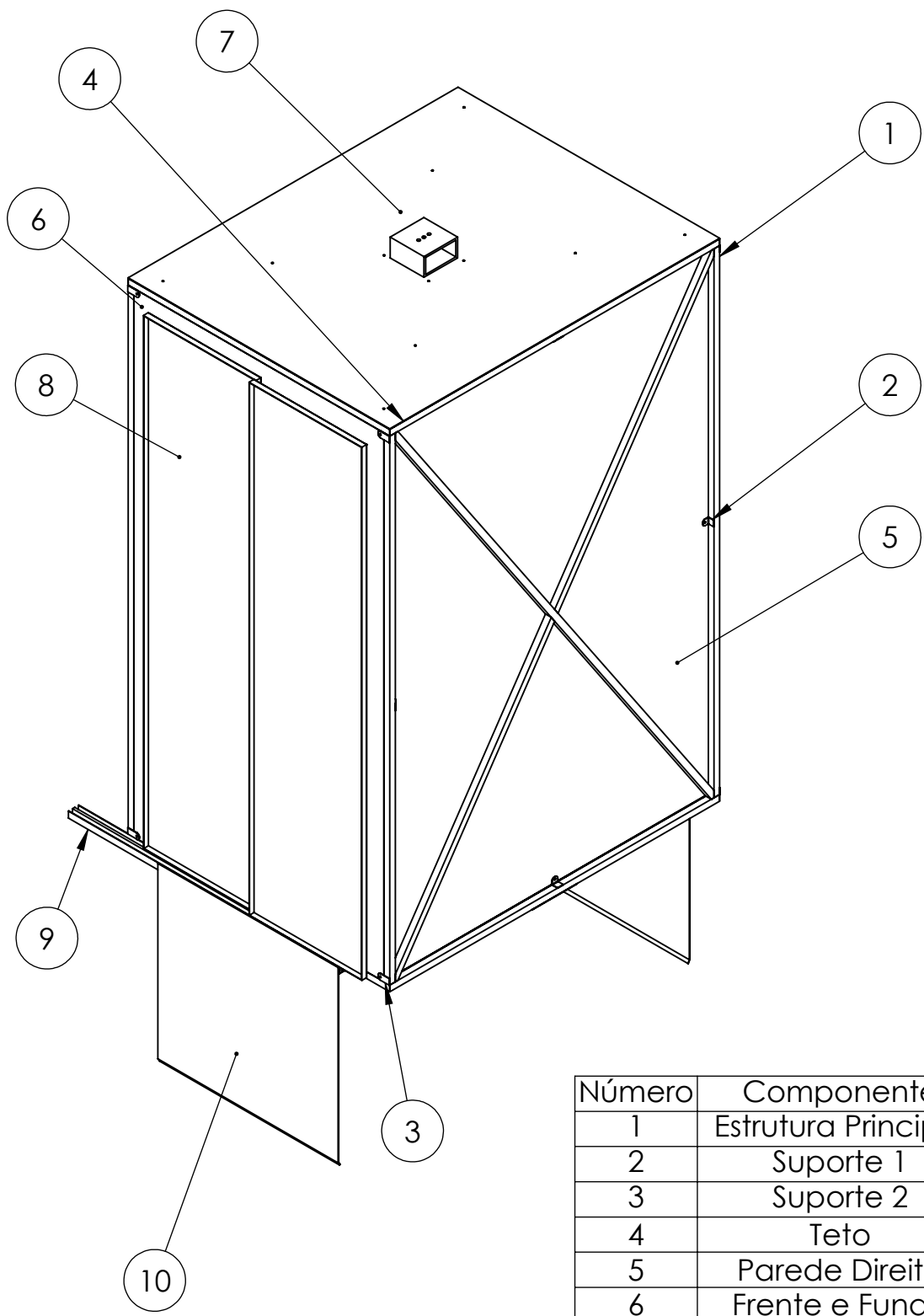
Todas as medidas estão em mm.

PLATAFORMA INCLINADA

Instalação ao lado ESQUERDO da escada:



ANEXO III: Desenhos técnicos



| Número | Componente | Quant. |
|--------|---------------------|--------|
| 1 | Estrutura Principal | 1 |
| 2 | Suporte 1 | 32 |
| 3 | Suporte 2 | 8 |
| 4 | Teto | 1 |
| 5 | Parede Direita | 1 |
| 6 | Frente e Fundo | 2 |
| 7 | Chapa Superior | 1 |
| 8 | Porta | 4 |
| 9 | Soleira Esquerda | 1 |
| 10 | Protetor de Soleira | 2 |



UNB

Data:
27/11/2015

Nº de Folha: 1/23

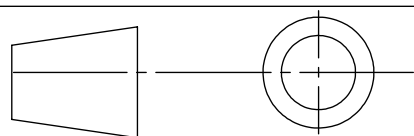
Título
Cabina Completa 1

Desenhista

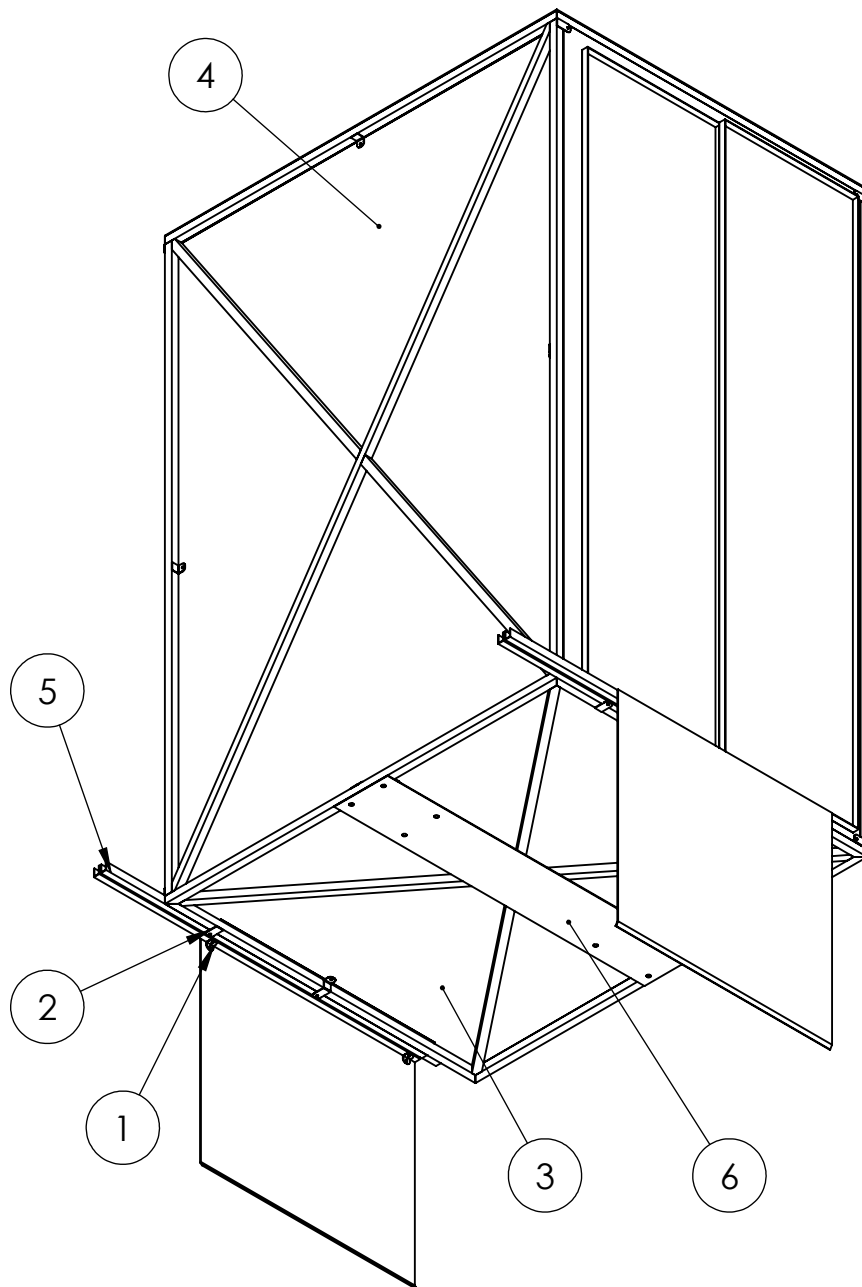
Felipe Ferreira

Unidade:
mm

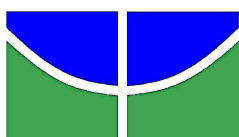
Diedro



Escala:
1:20



| Número | Componente | Quant. |
|--------|------------------|--------|
| 1 | Suporte 3 | 4 |
| 2 | Suporte 4 | 4 |
| 3 | Piso | 1 |
| 4 | Parede Esquerda | 1 |
| 5 | Soleira Direita | 1 |
| 6 | Suporte do Freio | 1 |



UNB

Data:
27/11/2015

Nº de Folha: 2/23

Título

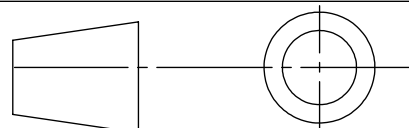
Cabina Completa 2

Desenhista

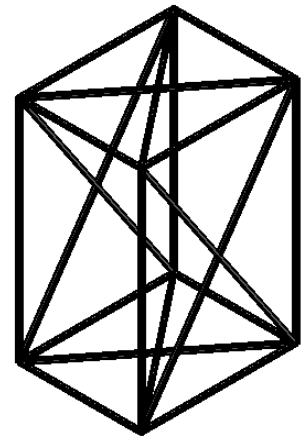
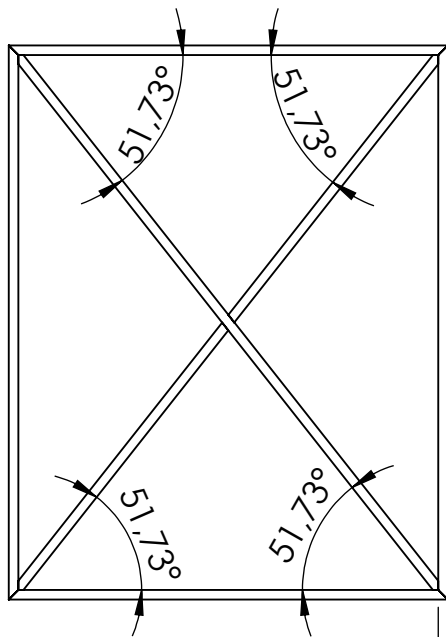
Felipe Ferreira

Unidade:
mm

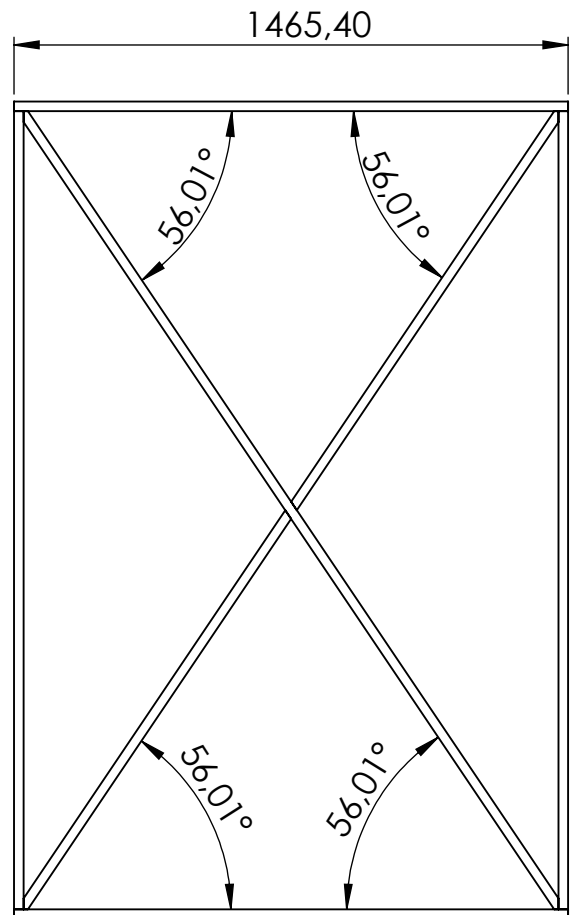
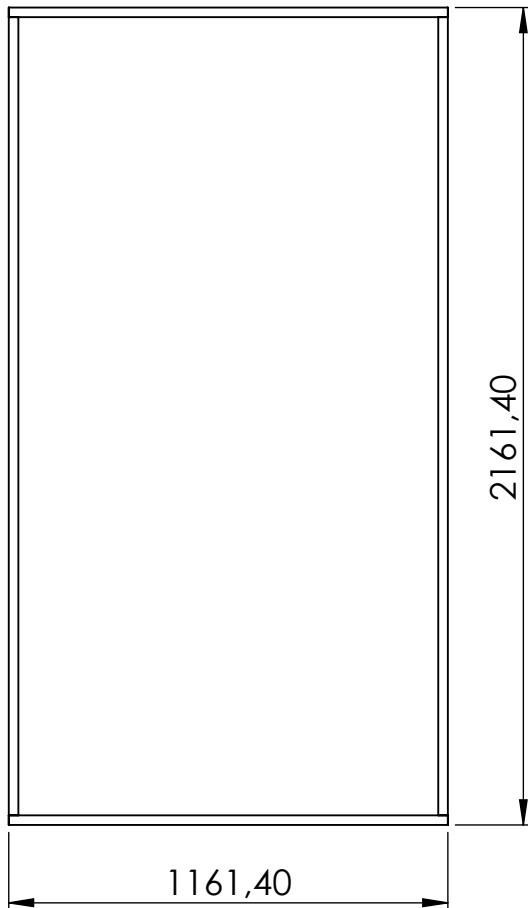
Diedro



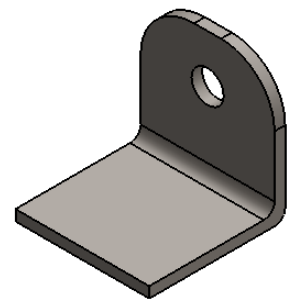
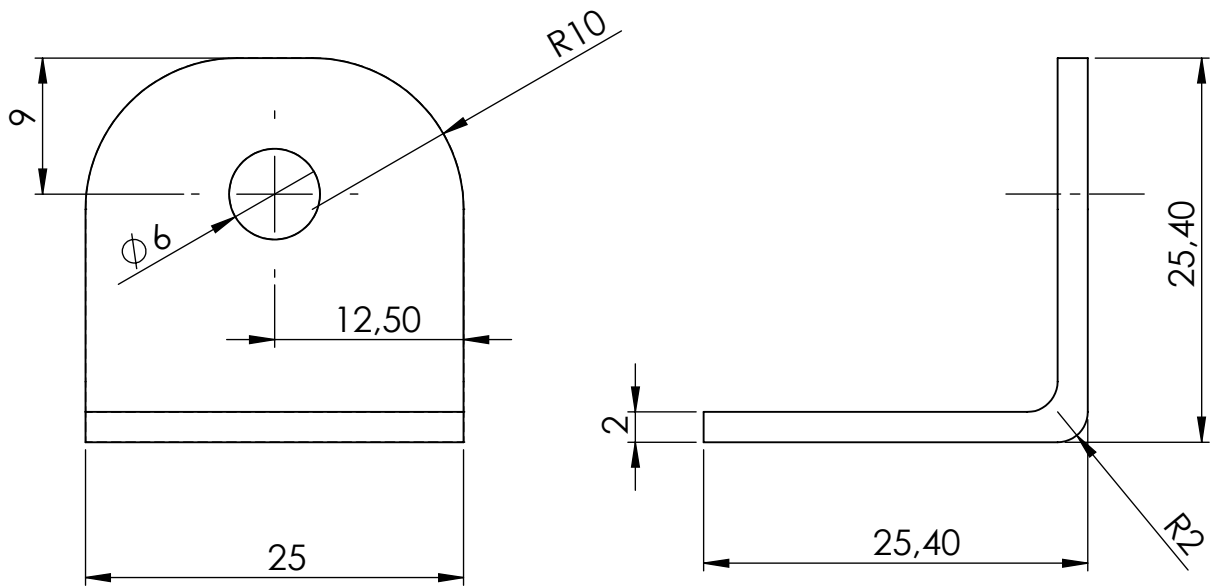
Escala:
1:20



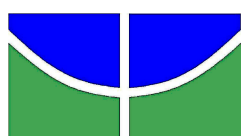
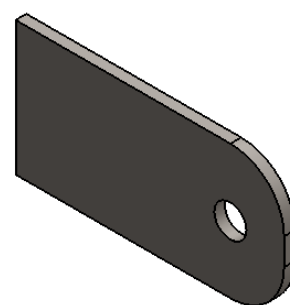
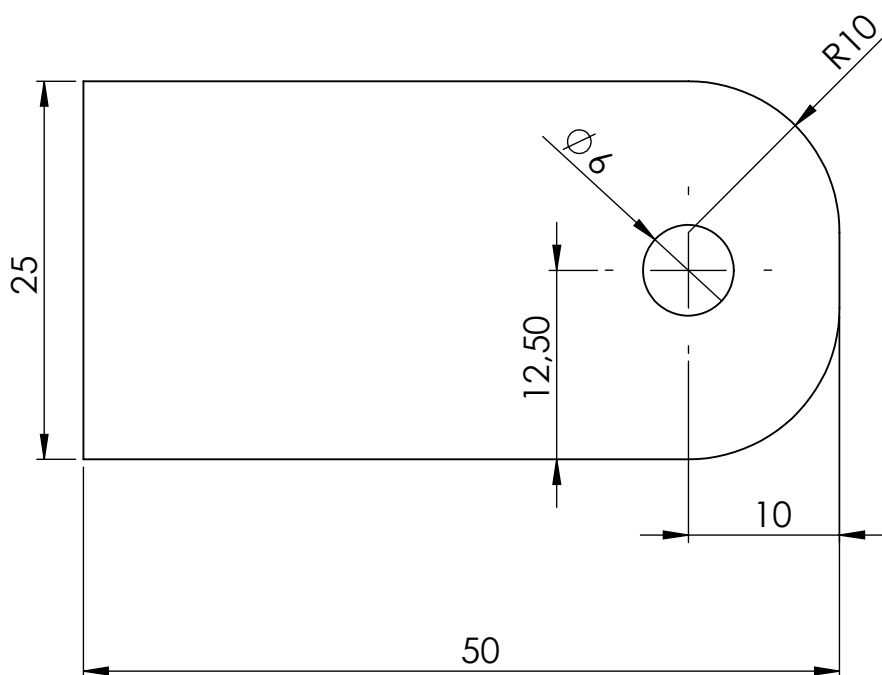
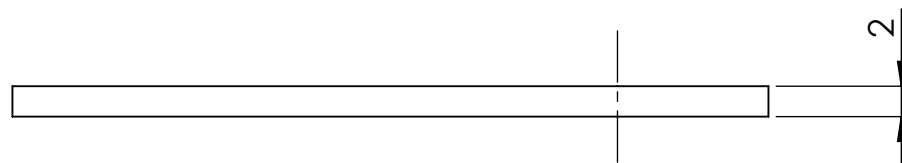
25,40



| | | | | |
|--|--------------------------------------|--|----------------------------------|-----------------------|
|  UNB | Título Estrutura Principal | | Material Aço AISI 1045 | |
| | Desenhista Felipe Ferreira | | | Unidade: mm |
| | Diedro |  | Escala: 1:20 | |
| Nº de Folha: 3/23 | | | | |



| | | | | |
|--|----------------------------|---|---|-----------------------|
|  UNB | Título Suporte 1 | | Material Aço AISI 1045 | |
| | Data: 27/11/2015 | Desenhista Felipe Ferreira | Unidade: mm | |
| Nº de Folha: 4/23 | Diedro |  |  | Escala: 2:1 |



UNB

Data:
27/11/2015

Nº de Folha: 5/23

Título

Suporte 2

Material

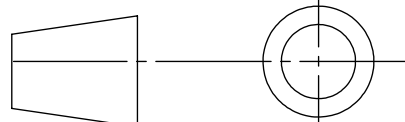
Aço AISI 1045

Desenhista

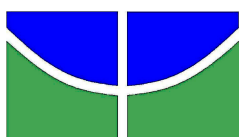
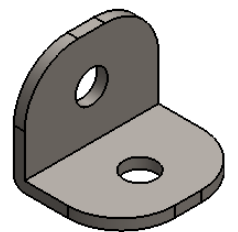
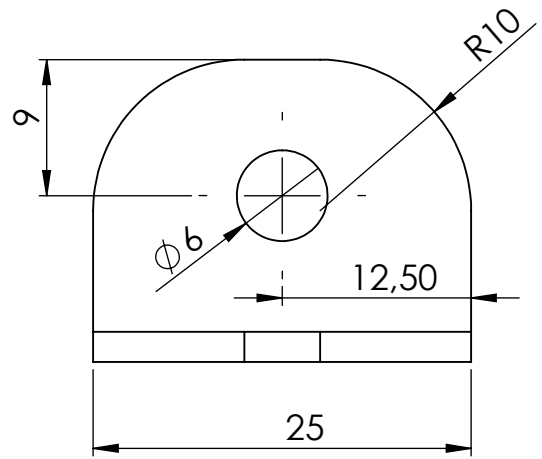
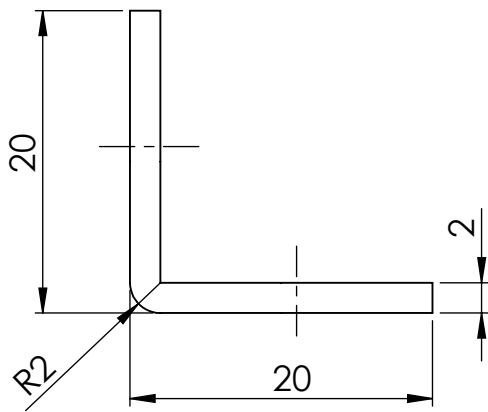
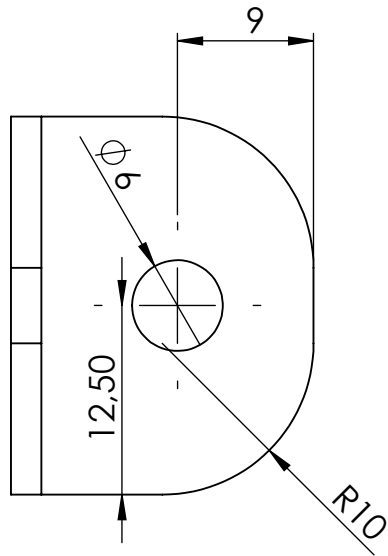
Felipe Ferreira

Unidade:
mm

Diedro



Escala:
2:1



UNB

Data:
27/11/2015

Nº de Folha: 6/23

Título

Suporte 3

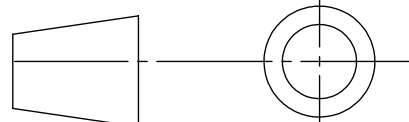
Desenhista

Diedro

Material

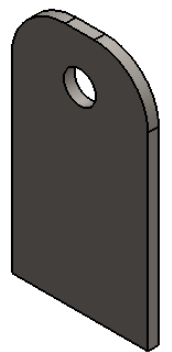
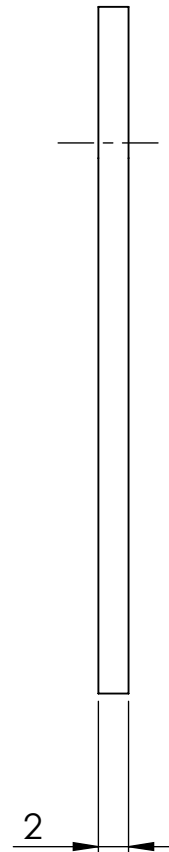
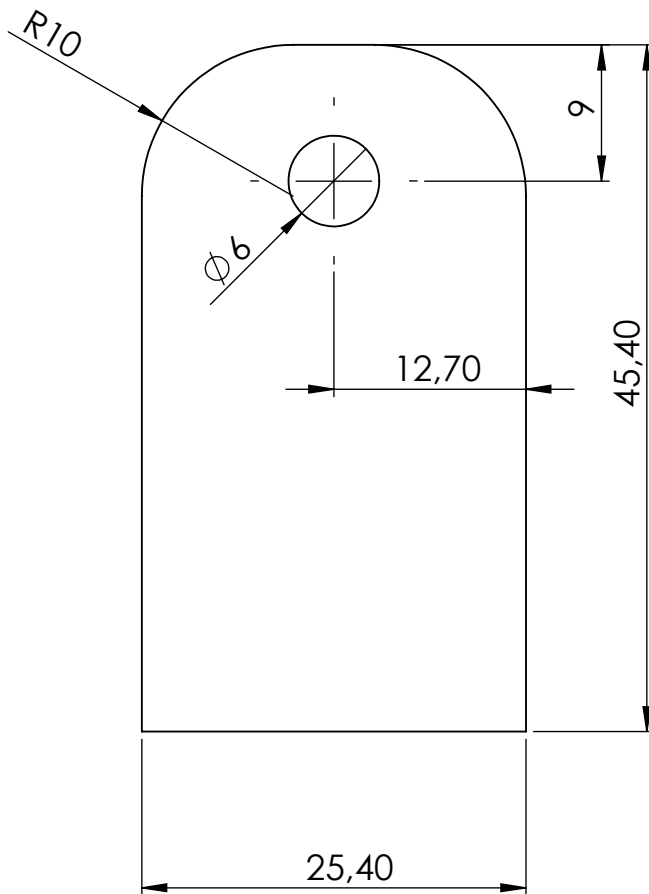
Aço AISI 1045


Felipe Ferreira

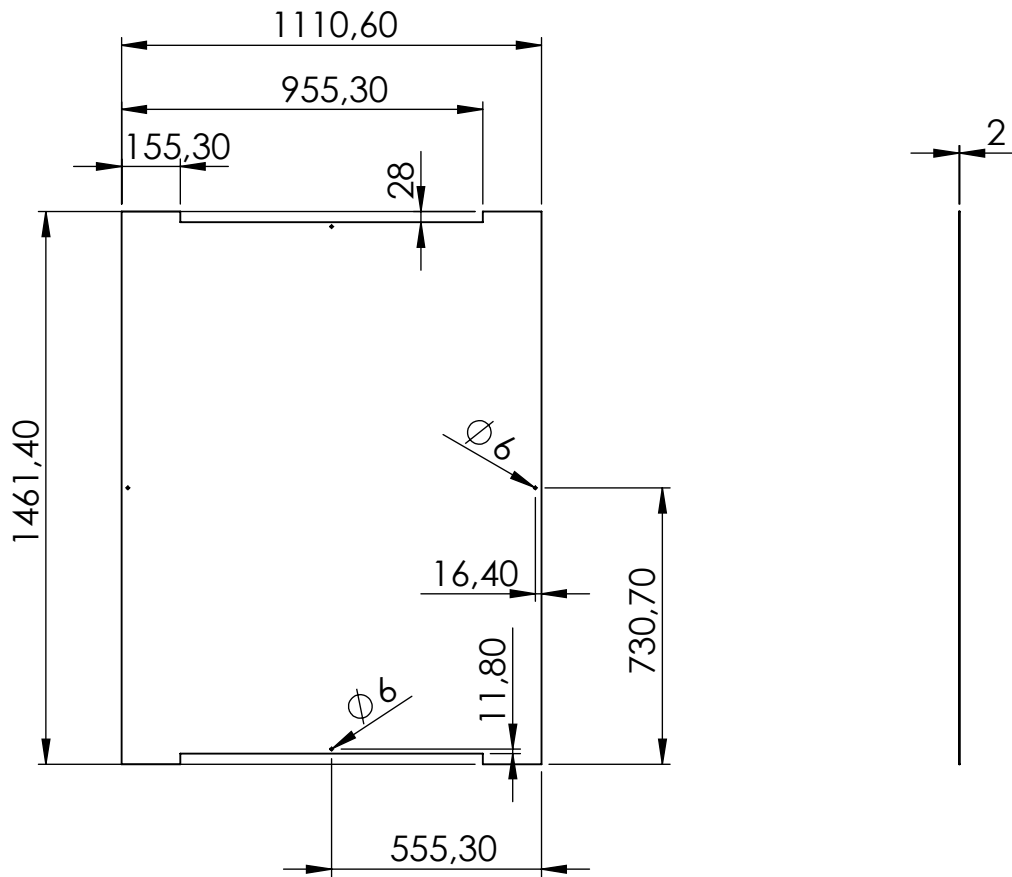


Unidade:
mm

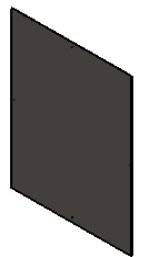
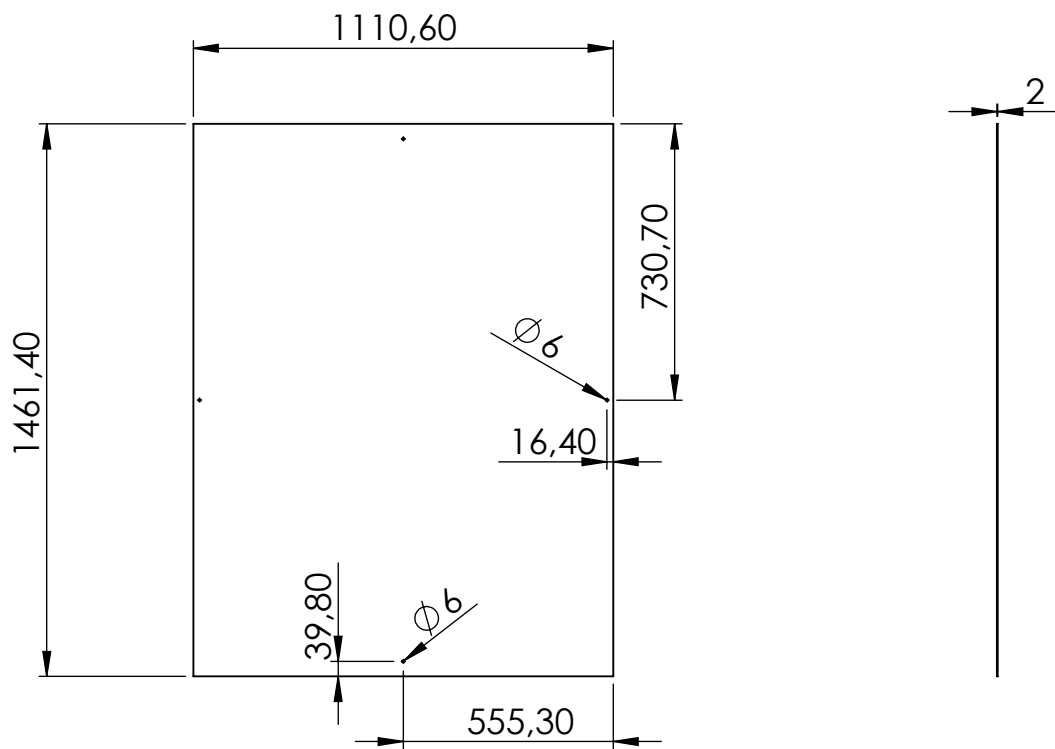
Escala:
2:1



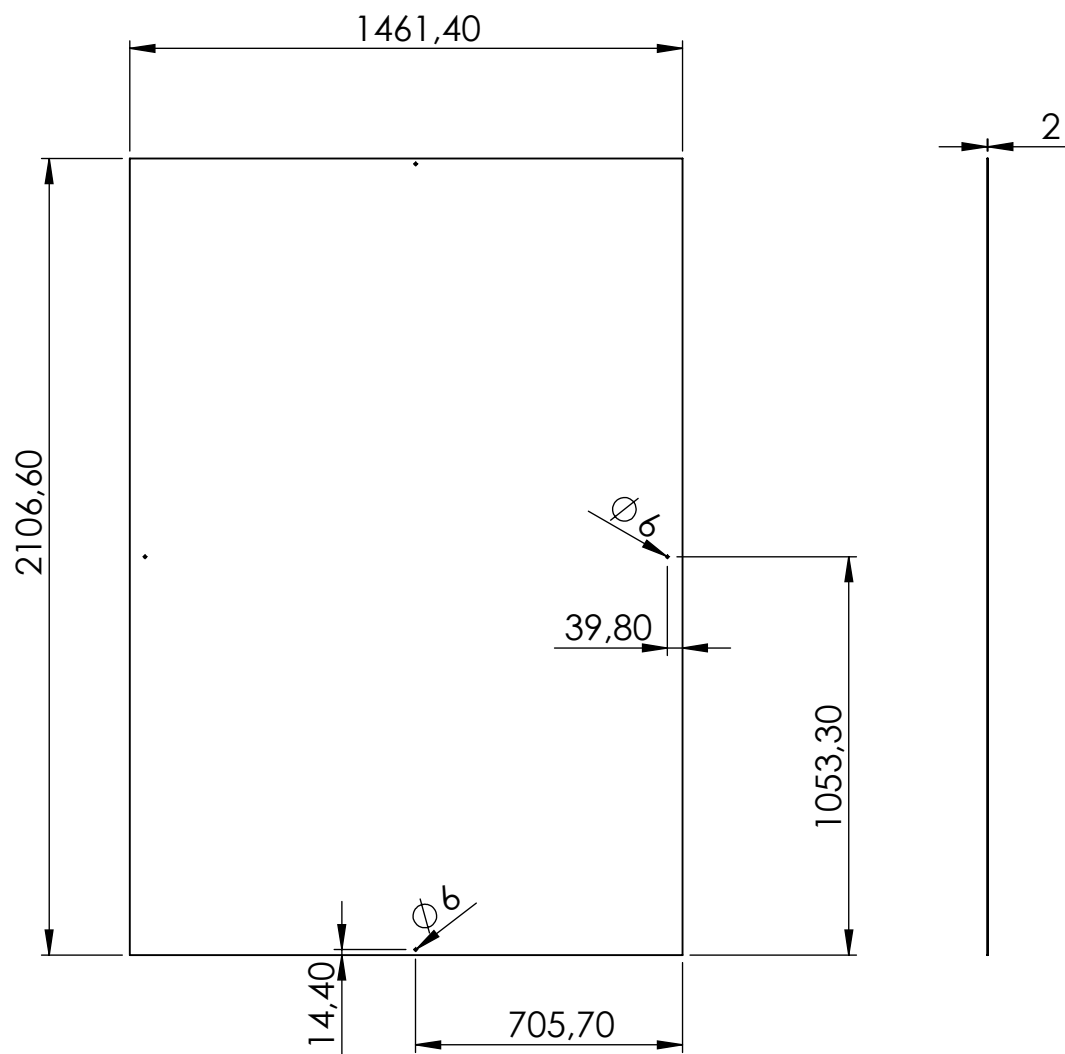
| | | | | |
|--|--------------------------------------|--|----------------------------------|-----------------------|
|  UNB | Título Suporte 4 | | Material Aço AISI 1045 | |
| | Desenhista Felipe Ferreira | | | Unidade: mm |
| Data: 27/11/2015 | Diedro |  | Escala: 2:1 | |
| Nº de Folha: 7/23 | | | | |



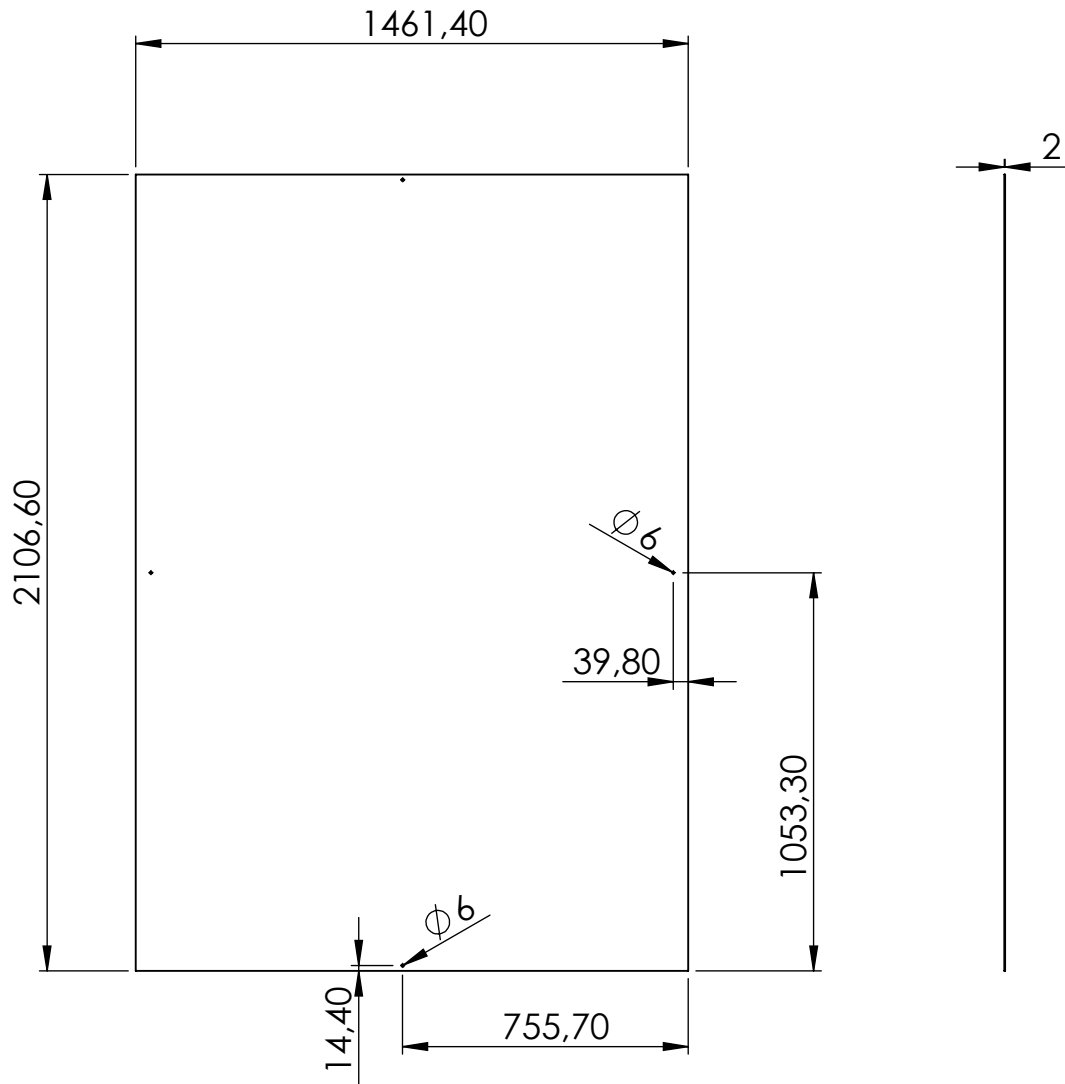
| | | | |
|--|--------------------------------------|--|---------------------------------------|
|  UNB | Título Piso | | Material Aço Inoxidável 430 |
| | Desenhista Felipe Ferreira | Unidade: mm | |
| Data: 27/11/2015 | Diedro |  | Escala: 1:20 |
| Nº de Folha: 8/23 | | | |

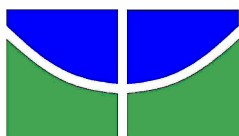


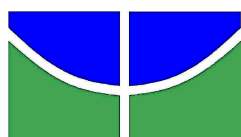
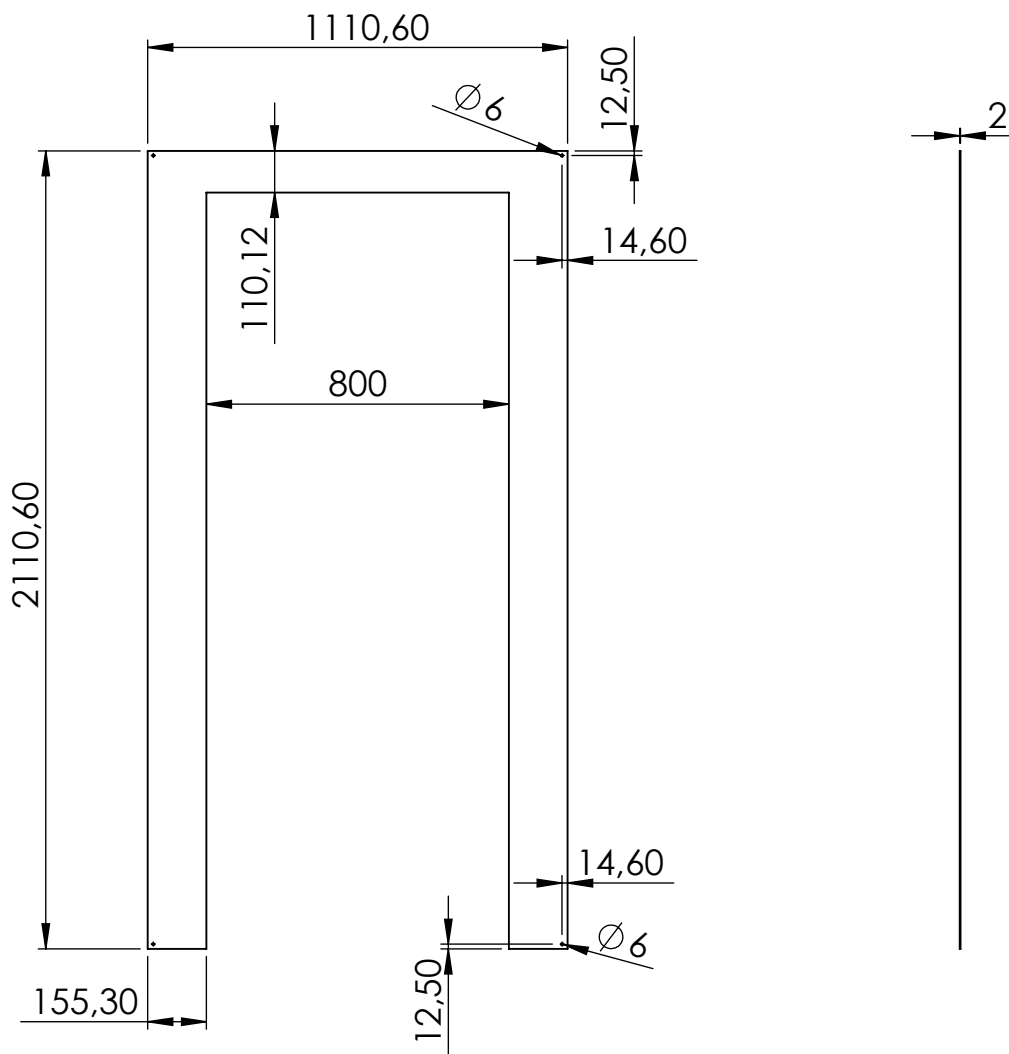
| | | | | |
|--|--------------------------------------|--|---------------------------------------|------------------------|
|  UNB | Título Teto | | Material Aço Inoxidável 430 | |
| | Desenhista Felipe Ferreira | | | Unidade: mm |
| Data: 27/11/2015 | Diedro |  | | Escala: 1:20 |
| Nº de Folha: 9/23 | | | | |



| | | | | |
|--|--------------------------------------|--|---------------------------------------|------------------------|
|  UNB | Título Parede Direita | | Material Aço Inoxidável 430 | |
| | Desenhista Felipe Ferreira | | | Unidade: mm |
| Data: 27/11/2015 | Diedro |  | | Escala: 1:20 |
| Nº de Folha: 10/23 | | | | |



| | | | |
|--|--------------------------------------|--|---------------------------------------|
|  UNB | Título Parede Esquerda | | Material Aço Inoxidável 430 |
| | Desenhista Felipe Ferreira | Unidade: mm | |
| Data: 27/11/2015 | Diedro |  | Escala: 1:20 |
| Nº de Folha: 11/23 | | | |



UNB

Data:
27/11/2015

Nº de Folha: 12/23

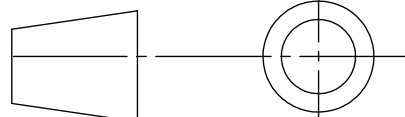
Título

Frente e Fundo

Desenhista

Diedro

Felipe Ferreira

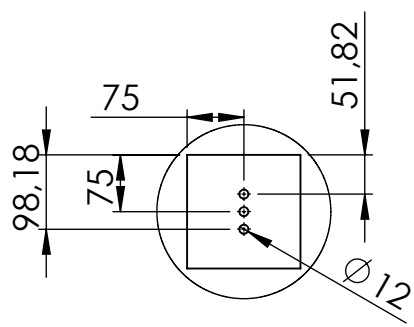
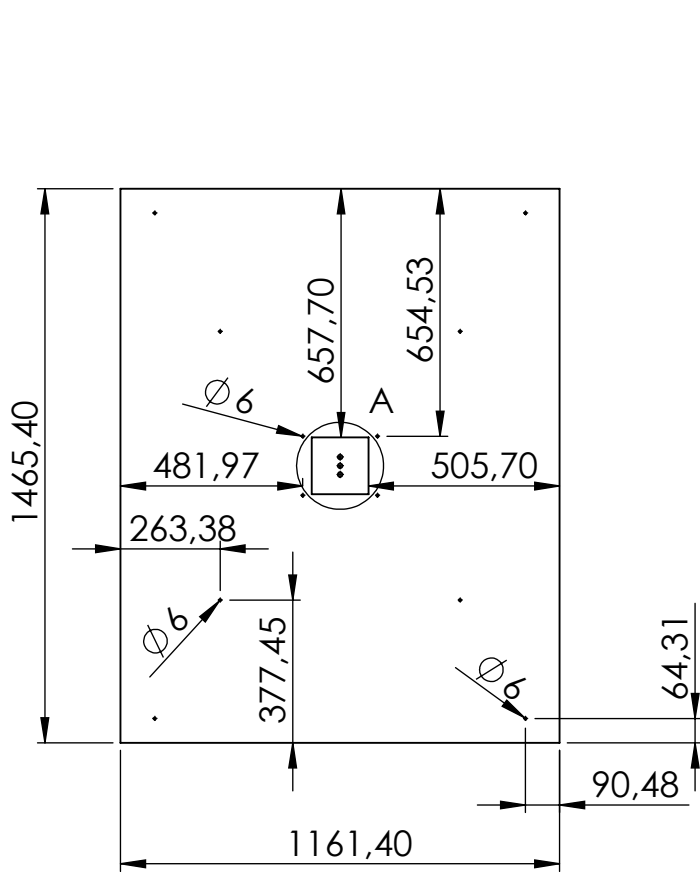


Material

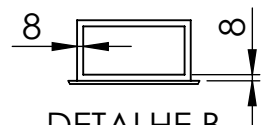
Aço Inoxidável 430

Unidade:
mm

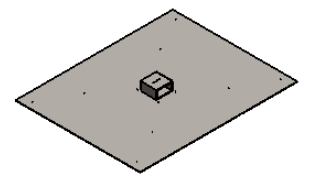
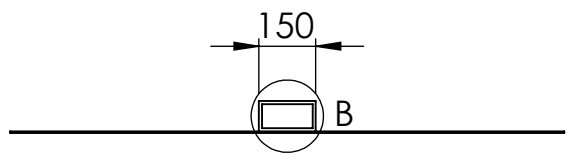
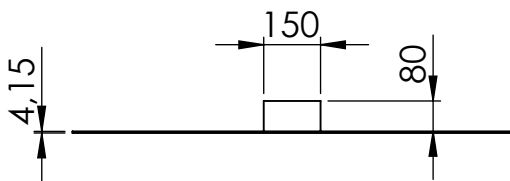
Escala:
1:20



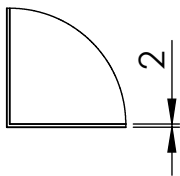
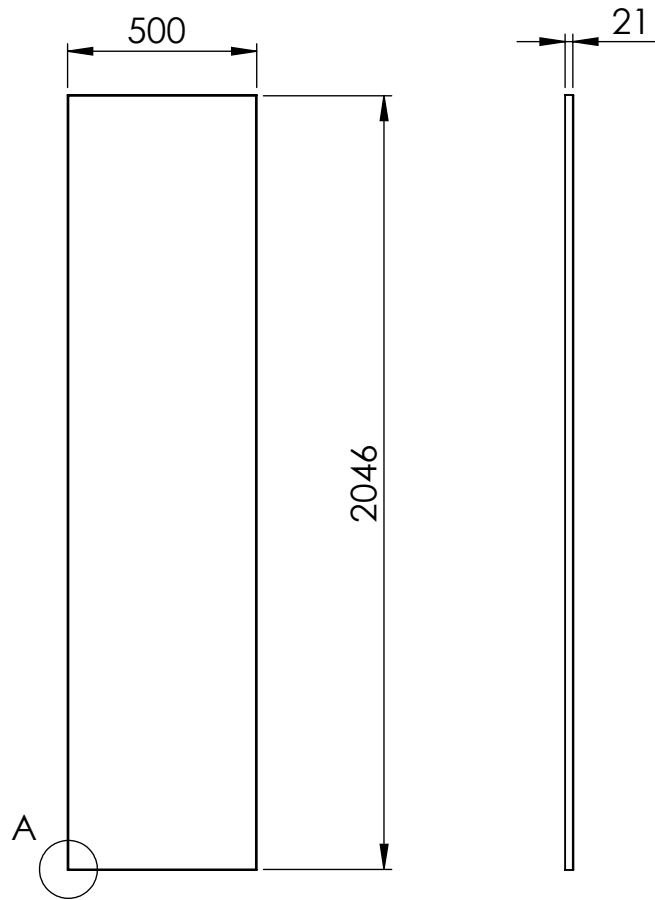
DETALHE A
ESCALA 1 : 10



DETALHE B
ESCALA 1 : 10



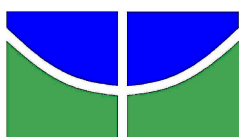
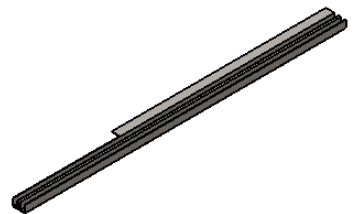
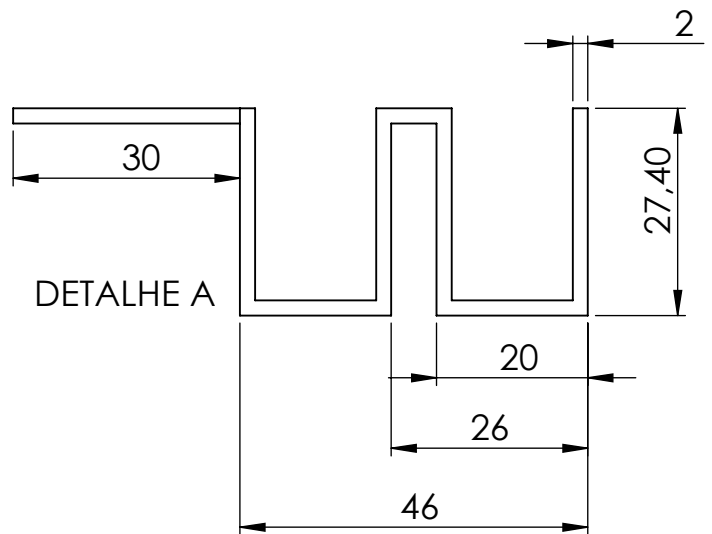
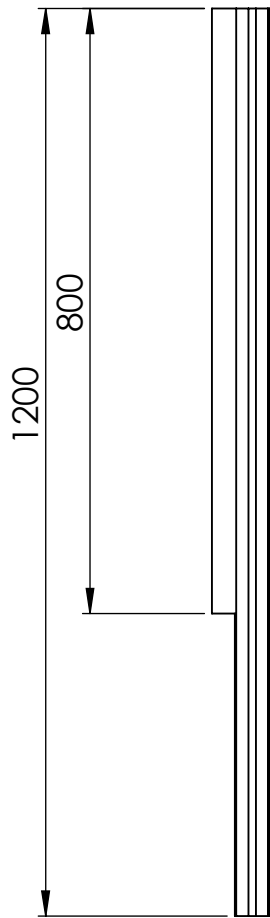
| | | | | |
|--|---------------------------------|---|---|------------------------|
|  UNB | Título Chapa Superior | | Material Aço AISI 1045 | |
| | Data: 27/11/2015 | Desenhista Felipe Ferreira | Unidade: mm | |
| Nº de Folha: 13/23 | Diedro |  |  | Escala: 1:20 |



DETALHE A
ESCALA 1 : 5



| | | | | |
|--|--------------------------------------|--|----------------------------------|-----------------------|
|  UNB | Título Porta | | Material Aço AISI 1045 | |
| | Desenhista Felipe Ferreira | | | Unidade: mm |
| Data: 27/11/2015 | Diedro |  | Escala: 1:20 | |
| Nº de Folha: 14/23 | | | | |



UNB

Data:
27/11/2015

Nº de Folha: 16/23

Título

Soleira Direira

Material

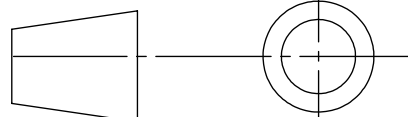
Aço AISI 1045

Desenhista

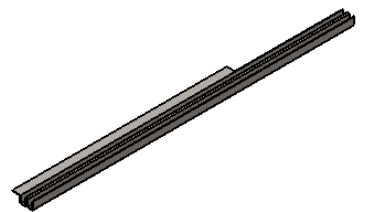
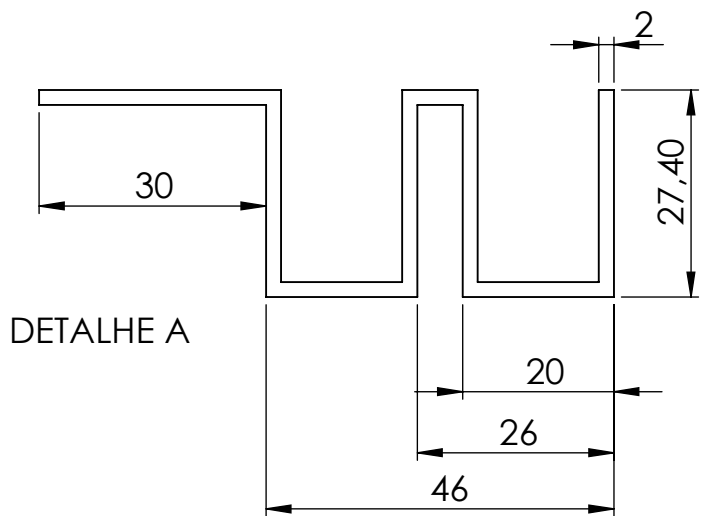
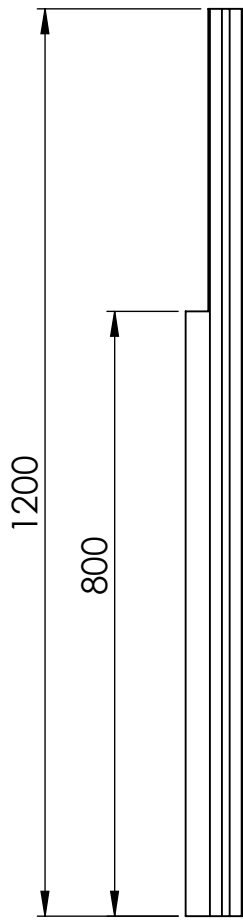
Felipe Ferreira

Unidade:
mm

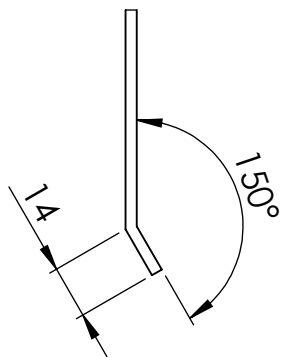
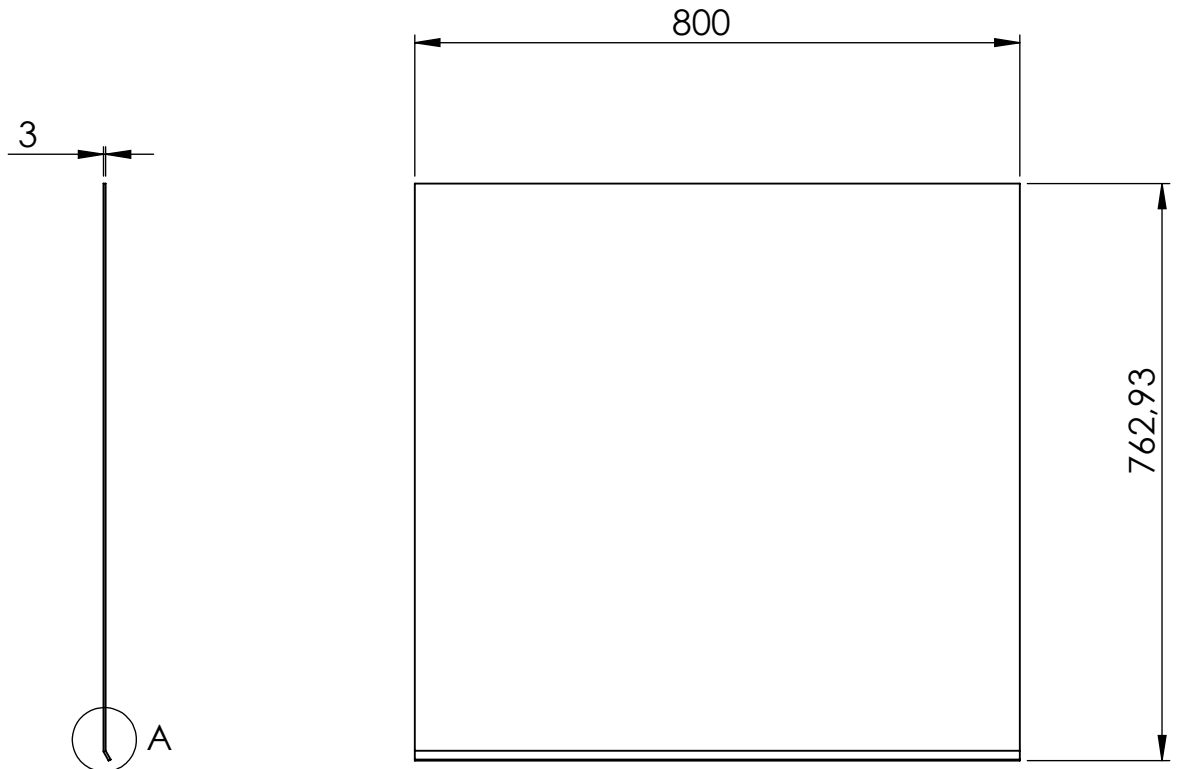
Diedro



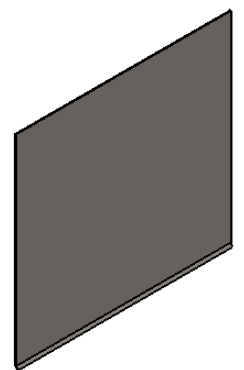
Escala:
1:10

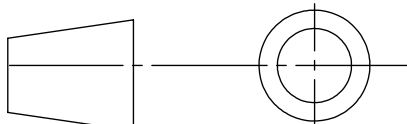


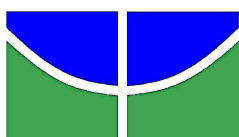
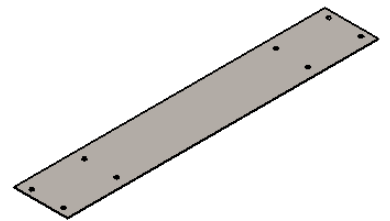
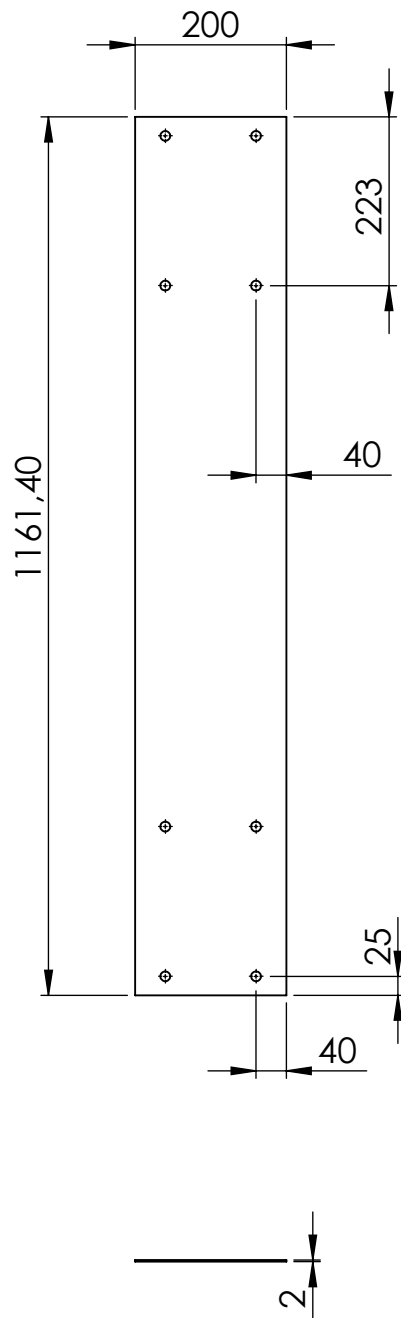
| | | | | |
|--|--------------------------------------|---|----------------------------------|-----------------------|
|  UNB | Título Soleira Esquerda | | Material Aço AISI 1045 | |
| | Desenhista Felipe Ferreira | | | Unidade: mm |
| Data: 27/11/2015 | Diedro |   | Escala: 1:10 | |
| Nº de Folha: 16/23 | | | | |



DETALHE A
ESCALA 1 : 2



| | | | | |
|--|--------------------------------------|--|----------------------------------|------------------------|
|  UNB | Título Protetor de Soleira | | Material Aço AISI 1045 | |
| | Desenhista Felipe Ferreira | | | Unidade: mm |
| Data: 27/11/2015 | Diedro |  | | Escala: 1:10 |
| Nº de Folha: 17/23 | | | | |



UNB

Data:
27/11/2015

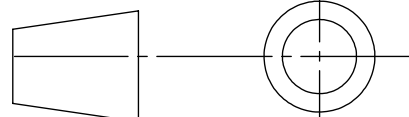
Nº de Folha: 18/23

Título
Suporte do Freio

Desenhista

Diedro

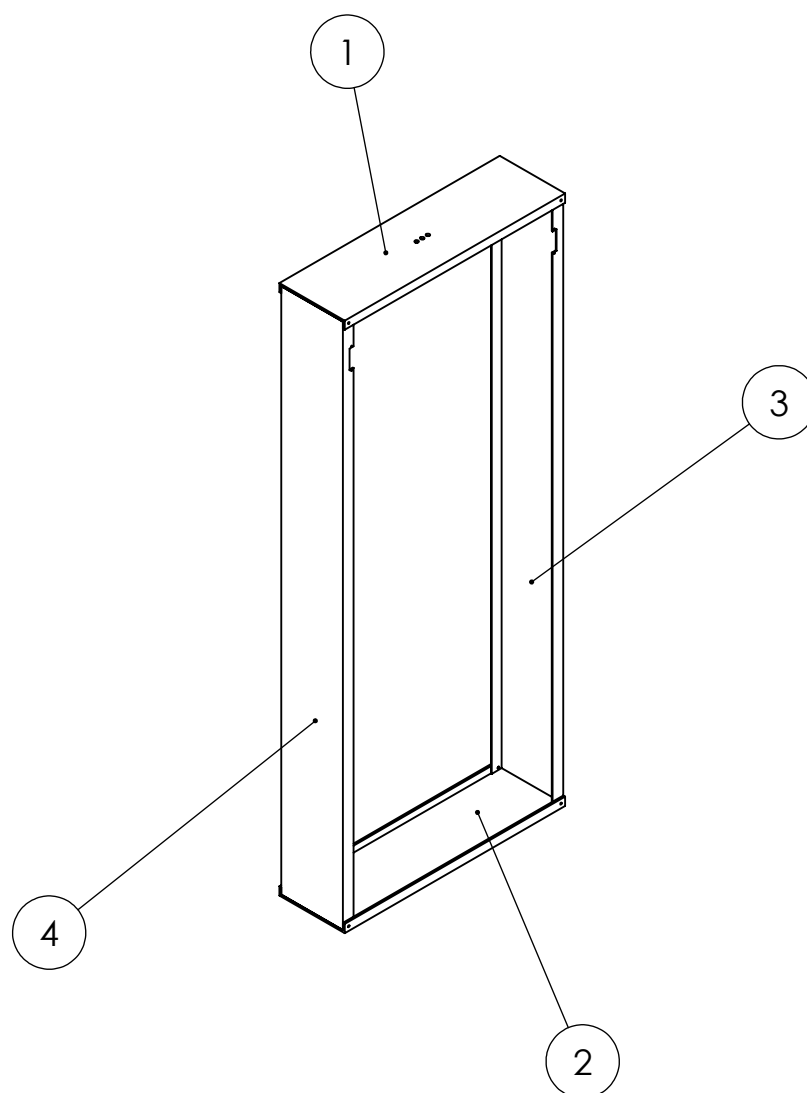
Felipe Ferreira



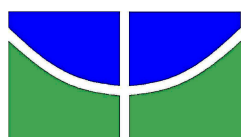
Material
Aço AISI 1045

Unidade:
mm

Escala:
1:10



| Número | Componente | Quantidade |
|--------|--------------------|------------|
| 1 | Cabeçote Superior | 1 |
| 2 | Cabeçote Inferior | 1 |
| 3 | Longarina Direita | 1 |
| 4 | Longarina Esquerda | 1 |



UNB

Data:
27/11/2015

Nº de Folha: 19/23

Título

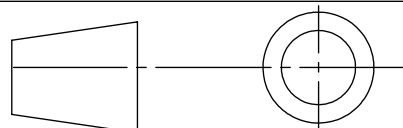
Contrapeso

Desenhista

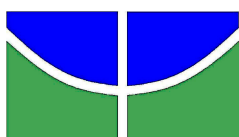
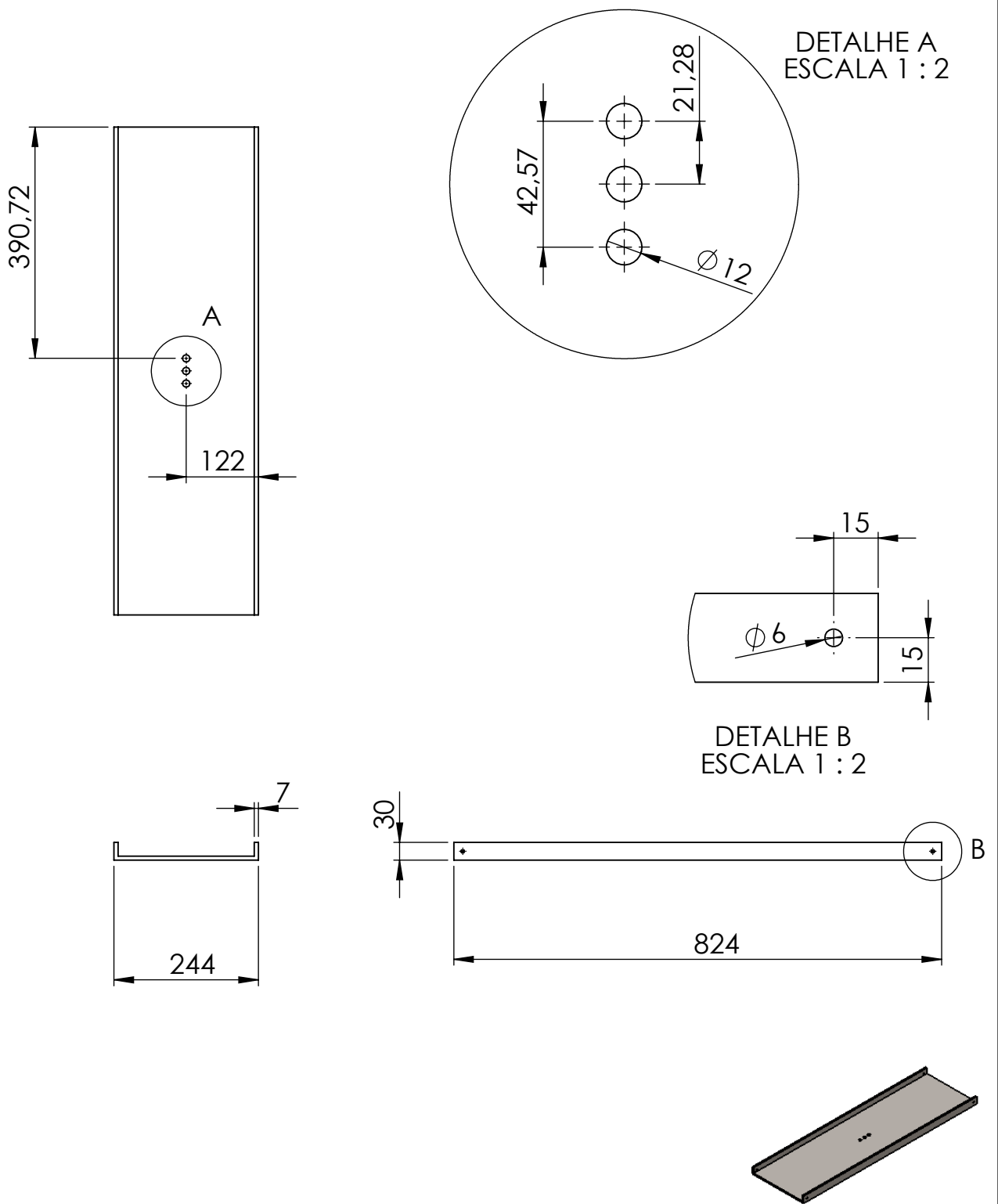
Felipe Ferreira

Unidade:
mm

Diedro



Escala:
1:20



UNB

Data:
27/11/2015

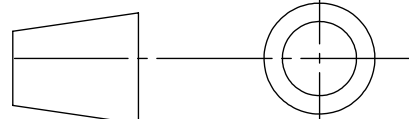
Nº de Folha: 20/23

Título
Cabeçote Superior

Desenhista

Diedro

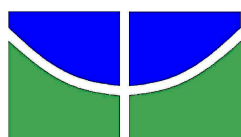
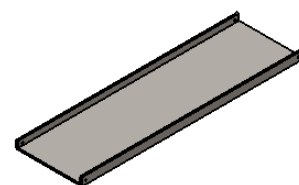
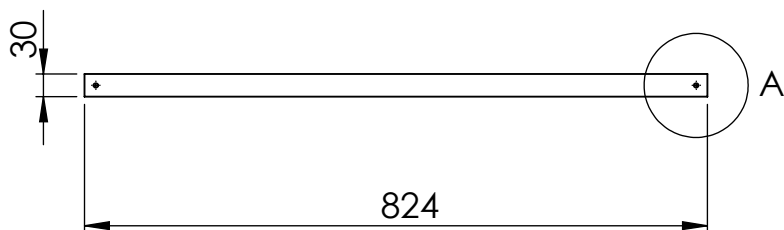
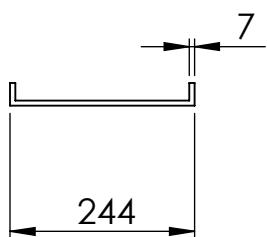
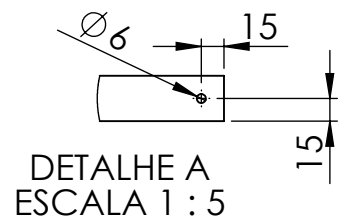
Felipe Ferreira



Material
Aço AISI 1045

Unidade:
mm

Escala:
1:10



UNB

Data:
27/11/2015

Nº de Folha: 21/23

Título

Cabeçote Inferior

Material

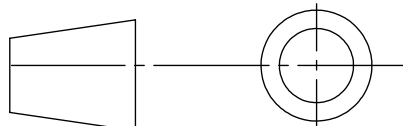
Aço AISI 1045

Desenhista

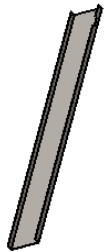
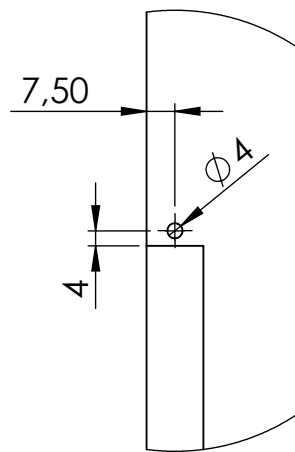
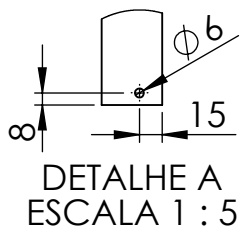
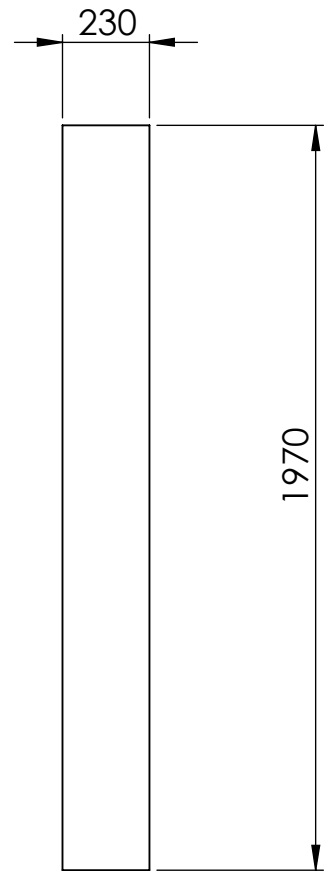
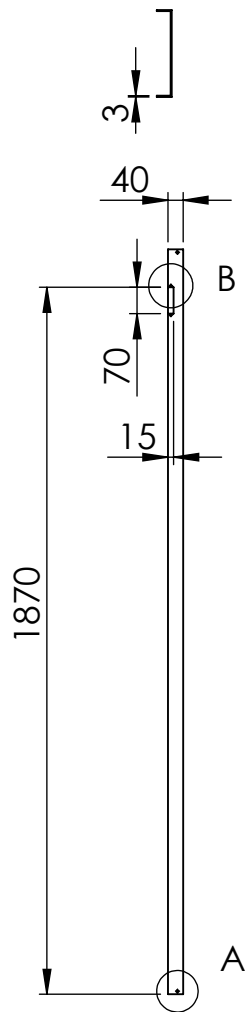
Felipe Ferreira

Unidade:
mm

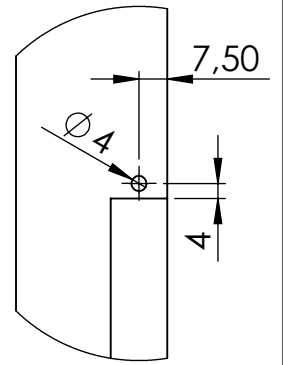
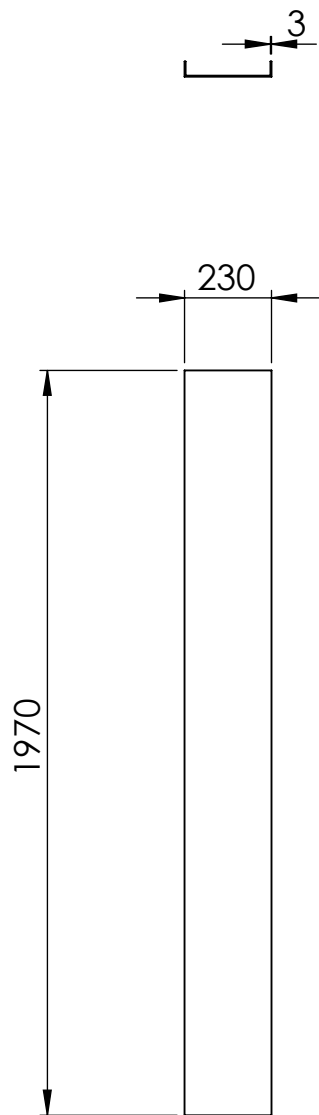
Diedro



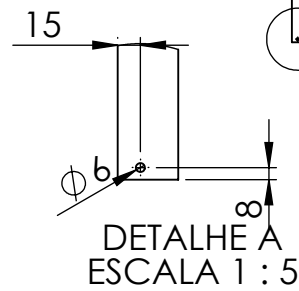
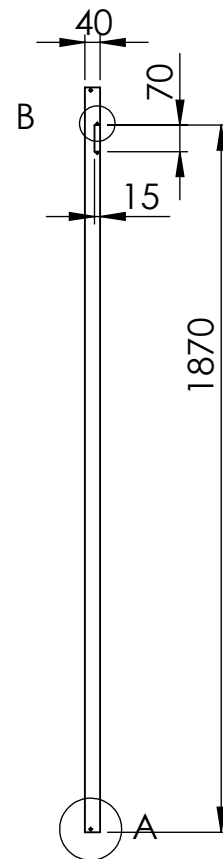
Escala:
1:10



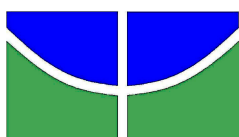
| | | | | |
|--|--------------------------------------|--|----------------------------------|------------------------|
|  UNB | Título Longarina Direita | | Material Aço AISI 1045 | |
| | Desenhista Felipe Ferreira | | | Unidade: mm |
| Data: 27/11/2015 | Diedro |  | | Escala: 1:20 |
| Nº de Folha: 22/23 | | | | |



DETALHE B
ESCALA 1 : 2



DETALHE A
ESCALA 1 : 5



UNB

Data:
27/11/2015

Nº de Folha: 23/23

Título

Longarina Esquerda

Material

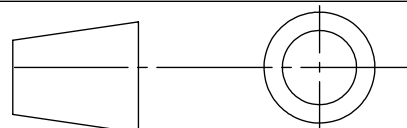
Aço AISI 1045

Desenhista

Felipe Ferreira

Unidade:
mm

Diedro



Escala:
1:20