

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA
CAMPUS CAJAZEIRAS

DIODATO FERREIRA DAS NEVES NETO
LUAN COSMO FERREIRA

**PROJETO DE OTIMIZAÇÃO DE PLATAFORMA DE ELEVAÇÃO HIDRÁULICA
PARA ACESSIBILIDADE DE PESSOAS COM MOBILIDADE REDUZIDA**

Cajazeiras-PB
2025

DIODATO FERREIRA DAS NEVES NETO
LUAN COSMO FERREIRA

**PROJETO DE OTIMIZAÇÃO DE PLATAFORMA DE ELEVAÇÃO HIDRÁULICA
PARA ACESSIBILIDADE DE PESSOAS COM MOBILIDADE REDUZIDA**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba-*Campus* Cajazeiras, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Controle e Automação, sob Orientação do Prof. Martiliano Soares Filho e Coorientação do Prof. Leonardo Pereira de Lucena Silva.

IFPB / Campus Cajazeiras
Coordenação de Biblioteca
Biblioteca Prof. Ribamar da Silva
Catalogação na fonte: Cícero Luciano Félix CRB-15/750

N519p Neves Neto, Diodato Ferreira das.

Projeto de otimização de plataforma de elevação hidráulica para acessibilidade de pessoas com mobilidade reduzida / Diodato Ferreira das Neves Neto, Luan Cosmo Ferreira. – Cajazeiras, 2025.

93f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Cajazeiras, 2025.

Orientador: Prof. Martiliano Soares Filho.

Coorientador: Prof. Leonardo Pereira de Lucena Silva.

1. Sistema hidráulico. 2. Plataforma de elevação. 3. Acessibilidade. 4. Controle automático. I. Ferreira, Luan Cosmo. II. Instituto Federal da Paraíba. III. Título.

IFPB/CZ

CDU: 681.5(043.2)

DIODATO FERREIRA DAS NEVES NETO
LUAN COSMO FERREIRA

**PROJETO DE OTIMIZAÇÃO DE PLATAFORMA DE ELEVAÇÃO HIDRÁULICA
PARA ACESSIBILIDADE DE PESSOAS COM MOBILIDADE REDUZIDA**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Coordenação do Curso de Bacharelado em
Engenharia de Controle e Automação do
Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia da Paraíba, *Campus* Cajazeiras,
como parte dos requisitos para a obtenção do
Título de Bacharel em Engenharia de
Controle e Automação.

Aprovado em _____ de _____ de _____.

BANCA EXAMINADORA



Documento assinado digitalmente

MARTILIANO SOARES FILHO
Data: 19/03/2025 19:02:59-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Me. Martiliano Soares Filho – IFPB-*Campus* Cajazeiras
Orientador



Documento assinado digitalmente

LEONARDO PEREIRA DE LUCENA SILVA
Data: 19/03/2025 20:00:24-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Me. Leonardo Pereira de Lucena Silva – IFPB-*Campus* Cajazeiras
Coorientador



Documento assinado digitalmente

EDLEUSOM SARAIVA DA SILVA
Data: 19/03/2025 19:45:18-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Me. Edleusom Saraiva da Silva – IFPB-*Campus* Cajazeiras
Examinador 1

Dedicamos este trabalho ao Senhor Deus,
Criador de tudo e de todos e às nossas famílias,
que sempre nos apoiaram.

AGRADECIMENTOS

Por Diodato Ferreira das Neves Neto

Agradeço primeiramente a Deus, o ser supremo onipotente, onipresente e onisciente, criador de todo o universo, que iluminou o meu caminho e me ajudou a superar todos os obstáculos encontrados durante essa jornada.

A minha mãe Ana Elia Sampaio Neves, que enquanto se fez presente na terra, me deu todo o apoio que eu precisava para iniciar essa jornada fora de casa.

Ao meu pai Diunizio Ferreira das Neves, que assim como minha irmã e minhas tias continuaram me dando total apoio para que eu conseguisse continuar na faculdade, após passar uma perda muito dolorosa, o falecimento da minha mãe.

A minha namorada Ana Vitória Sampaio, pelo seu amor incondicional, compreensão, paciência e constante incentivo.

Aos professores Martiliano Soares Filho e Leonardo Pereira de Lucena Silva, por sua orientação valiosa na realização deste trabalho.

Aos professores, que durante o curso me proporcionaram oportunidades de desenvolvimento acadêmico, pessoal e profissional.

A todos os amigos que fiz nesta jornada, no IFPB-*Campus* Cajazeiras.

AGRADECIMENTOS

Por Luan Cosmo Ferreira

Agradeço primeiramente a Deus, criador de tudo e de todos, misericordioso e que me abençoa sempre e compensa todos os meus esforços, fazendo que cada luta, cada obstáculo, tenha um peso significativo para meu desenvolvimento pessoal e profissional.

À minha mãe Maria José Cosmo da Silva, que sempre acreditou em mim e faz tudo o que está ao seu alcance para me ver bem, juntamente com minha irmã.

Ao meu pai, Damião Ferreira de Sousa, que, assim como minha mãe, sempre me apoiou. Lembro-me com gratidão das vezes em que ele me levava de bicicleta até o ponto de ônibus e me buscava tarde da noite, durante o período em que cursei eletromecânica.

À minha irmã Raissa Cosmo Ferreira, que acredita em mim e me incentiva a continuar correndo atrás dos meus sonhos.

Ao professor Edleusom Saraiva da Silva, que viu potencial na minha pessoa e me proporcionou a oportunidade de me tornar pesquisador, participar de congressos e publicar trabalhos.

Aos professores Martiliano Soares Filho e Leonardo Pereira de Lucena Silva, que nos orientaram na realização deste trabalho.

A todos os professores do curso Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação, do IFPB-*Campus* Cajazeiras, pois sem o apoio e o conhecimento transmitido por cada um, nossa formação acadêmica e profissional não teria sido possível.

Aos companheiros de pesquisa do Laboratório Cajazeirense de Processos de Produção (LC2P).

A todos os amigos que fiz nesta jornada, no IFPB-*Campus* Cajazeiras.

RESUMO

A inclusão social é um direito humano fundamental, que visa garantir que todas as pessoas, independentemente de suas características individuais, tenham oportunidades iguais de participar plenamente da sociedade. No entanto, a realidade no Brasil revela que ainda existem muitos obstáculos a serem superados, especialmente no que diz respeito à inclusão de pessoas com mobilidade reduzida. Embora existam leis e políticas públicas que buscam assegurar a acessibilidade e a inclusão, a implementação efetiva dessas medidas ainda é um desafio. A falta de infraestrutura adequada é um dos principais fatores que contribuem para a exclusão social. Para reverter esse cenário, uma das estratégias mais eficazes é o investimento em tecnologias assistivas, que podem desempenhar um papel crucial na promoção da autonomia e da independência de pessoas com mobilidade reduzida. Dessa forma, este trabalho dedica-se na análise e otimização de uma plataforma elevatória projetada para melhorar a acessibilidade de pessoas com mobilidade reduzida. A metodologia adotada envolve a modelagem 3D da plataforma, seguido por uma análise estrutural utilizando o *software* Autodesk Inventor 2024, com licença estudantil. Com base nos resultados da análise estrutural, foi possível identificar áreas de melhoria e otimizar os perfis da estrutura através do *software* gratuito DimPerfil, de dimensionamento de perfis de aço formado à frio. Essa otimização visou garantir a máxima eficiência e segurança da plataforma, minimizando o uso de material e reduzindo o peso total do equipamento. O sistema de elevação da plataforma é impulsionado por um sistema hidráulico, no qual um motor elétrico, controlado por um inversor de frequência, aciona a central hidráulica. A descida da plataforma é regulada por uma válvula solenoide, que controla o retorno do óleo ao reservatório, garantindo um movimento suave e seguro. O projeto foi desenvolvido em estrita conformidade com as diretrizes da normativas, que estabelecem os requisitos de segurança e desempenho para plataformas elevatórias verticais. Essa conformidade garante que a plataforma atenda padrões de qualidade e segurança, proporcionando uma solução confiável e eficaz para pessoas com mobilidade reduzida.

Palavras-chave: acessibilidade; plataforma de elevação; sistemas hidráulicos; análise estrutural; otimização.

ABSTRACT

Social inclusion is a fundamental human right that aims to ensure that all people, regardless of their individual characteristics, have equal opportunities to participate fully in society. However, the reality in Brazil reveals that there are still many obstacles to overcome, especially concerning the inclusion of people with reduced mobility. Although there are laws and public policies that seek to ensure accessibility and inclusion, the effective implementation of these measures remains a challenge. The lack of adequate infrastructure is one of the main factors contributing to social exclusion. To reverse this scenario, one of the most effective strategies is investment in assistive technologies, which can play a crucial role in promoting the autonomy and independence of people with reduced mobility. Therefore, this work is dedicated to the analysis and optimization of a lifting platform designed to improve the accessibility of people with reduced mobility. The adopted methodology involves the 3D modeling of the platform, followed by a structural analysis using Autodesk Inventor 2024 software with a student license. Based on the results of the structural analysis, it was possible to identify areas for improvement and optimize the profiles of the structure using the free software DimPerfil, for dimensioning cold-formed steel profiles. This optimization aimed to ensure the maximum efficiency and safety of the platform, minimizing the use of material and reducing the total weight of the equipment. The platform's lifting system is powered by a hydraulic system, in which an electric motor, controlled by a frequency inverter, drives the hydraulic power unit. The descent of the platform is regulated by a solenoid valve, which controls the return of oil to the reservoir, ensuring a smooth and safe movement. The project was developed in strict compliance with the guidelines of the regulations, which establish the safety and performance requirements for vertical lifting platforms. This compliance ensures that the platform meets quality and safety standards, providing a reliable and effective solution for people with reduced mobility.

Keywords: accessibility; elevator platform; hydraulic systems; structural analysis optimization.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Plataforma de elevação vertical	25
Figura 2 – Plataforma vertical enclausurada	25
Figura 3 – Plataforma elevatória para escadas	26
Figura 4 – Cadeira elevatória para pessoas com mobilidade reduzida.....	26
Figura 5 – Montagem completa da plataforma de elevação	32
Figura 6 - Resultado da simulação de deformação.....	32
Figura 7 - Perspectiva da base do elevador movimentado pelo fuso.....	33
Figura 8 – Simulação de deflexão na base da cabina	33
Figura 9 - Modelos desenvolvidos: elevador tipo plano inclinado e elevador vertical	34
Figura 10 – Deslocamento na base do elevador, estrutura em corte	34
Figura 11 – Montagem da cabine do elevador.....	35
Figura 12 – Projeto CAD do elevador	36
Figura 13 - Malha gerada para tamanho de malha 40 mm	36
Figura 14 - Plataforma elevatória de escadas com guia do carrinho	37
Figura 15 – Plataforma de elevação operada por fuso.....	38
Figura 16 – Processo de geração de estrutura: a) linhas, arestas e pontos, b) geração da peça, a partir das linhas, arestas e pontos e c) peça resultante.....	41
Figura 17 – Geometria, cargas e malhas de elementos finitos	43
Figura 18 – Dimensões gerais de cilindros.....	47
Figura 19 – Válvula esférica com função de isolamento.....	52
Figura 20 – Válvula de retenção	52
Figura 21 – Válvula limitadora de pressão	53
Figura 22 – Válvula de comando de descida	53
Figura 23 – Fusível de fluxo.....	54
Figura 24 – Válvula reguladora de fluxo.....	54
Figura 25 – Filtro para linha de sucção	55
Figura 26 – Mini central hidráulica	56
Figura 27 – Disjuntor monofásico	56
Figura 28 – Inversor de Frequência CW 100	57
Figura 29 – Chave de três posições.	58
Figura 30 – Relé de interface RL1C7A	58
Figura 31 – Fim de curso LSW-PF10-P11	59

Figura 32 – Esqueleto da plataforma: a) parte móvel, b) parte fixa	59
Figura 33 – Estrutura com os perfis: a) parte móvel, b) parte fixa.....	60
Figura 34 – Guia de <i>nylon</i>	60
Figura 35 - Perfis utilizados: a) cantoneira de abas iguais (L); b) U simples (U); c) U enrijecido (Ue) d) Tipo T.....	61
Figura 36 – Perfil T utilizado para guia da estrutura	62
Figura 37 – Plataforma com perfis enumerados: a) plataforma móvel e b) plataforma fixa...	62
Figura 38 – Parte móvel no ambiente de Análise Estrutural	63
Figura 39 – Parte fixa no ambiente de Análise Estrutural	64
Figura 40 – Parte móvel com as restrições, cargas e conexões necessárias.	65
Figura 41 – Parte fixa com as restrições, cargas e conexões necessárias	65
Figura 42 - Guia de nylon no ambiente análise de tensão	66
Figura 43 - Plataforma elevatória completa	66
Figura 44 – Tela inicial do DimPerfil.....	67
Figura 45 – Diagrama hidráulico de acionamento da plataforma	68
Figura 46 – Diagrama elétrico de acionamento da plataforma.....	72
Figura 47 – Deformação da parte móvel da estrutura	75
Figura 48 – Deformação da parte fixa da estrutura	75
Figura 49 – Tensão normal máxima da estrutura.....	76
Figura 50 – Tensão normal máxima da parte fixa da estrutura.....	76
Figura 51 - Deformação do guia.....	77
Figura 52 - Tensão do guia	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparativos de normas para elevadores e plataformas de acessibilidade.....	30
Tabela 2 – Comparativo de projetos de elevadores para acessibilidade.....	38
Tabela 3 – Características dimensionais e normativas do trabalho	44
Tabela 4 – Dimensões gerais de cilindros	47
Tabela 5 – Velocidades recomendadas para dimensionamento de tubulações	49
Tabela 6 - Diâmetro comercial de tubulações hidráulicas.....	50
Tabela 7 - Requisitos de resistência à tração	61
Tabela 8 – Tipos de perfil utilizados na plataforma elevatória.....	63
Tabela 9 – Componentes do circuito hidráulico	69
Tabela 10 – Parâmetros do cilindro para o projeto	70
Tabela 11 – Diâmetro das tubulações	71
Tabela 12 – Perdas de carga nas válvulas da linha de pressão	71
Tabela 13 – Descrição dos componentes do circuito elétrico.....	73
Tabela 14 – Esforços dos perfis.....	78
Tabela 15 – Resultados obtidos no DimPerfil.	79
Tabela 16 – Perfis otimizados.....	79
Tabela 17 – Parametrização do inversor CW 100 para o projeto	89

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

3D – Tridimensional.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

AST – *American Society for Testing and Materials* (Sociedade Americana para Testes e Materiais).

BE – Botão de Emergência.

CAD – *Computer aided design* (Projeto assistido por computador).

DI1 – Entrada digital 1 do inversor.

DI3 - Entrada Digital 3 do inversor.

ELU – Estado dos Limites Últimos.

F1 – Fim de curso 1.

F2 – Fim de curso 2.

GND – Aterramento da parte de comando.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

IFPB – Instituto Federal da Paraíba.

ISO – *International Organization for Standardization* (Organização Internacional de Padronização).

L – Condutor fase da parte de potência.

LC2P – Laboratório Cajazeirense de Processos de Produção.

Lx – Comprimento.

M1 – Motor de indução trifásico.

MEF – Método de Elementos Finitos.

N – Condutor neutro da parte de potência.

NA – Contato normalmente aberto.

NBR – Norma Brasileira.

NF – Contato normalmente fechado.

OMS – Organização Mundial da Saúde.

ONU – Organização das Nações Unidas.

PE – Condutor terra da parte de potência.

PNAD – Pesquisa Nacional de Amostra de Domicílios.

R1 – Relé eletromecânico 1.

R2 – Relé eletromecânico 2.

SI – Sistema Internacional de Unidades.

TCC – Trabalho de Conclusão de Curso.

UNICEF – Fundo das Nações Unidas para a infância.

LISTA DE SÍMBOLOS

Δ_t – Variação de tempo.

D_h – Diâmetro da haste.

D_p – Diâmetro do pistão.

D_t – Diâmetro da tubulação.

E – Módulo de elasticidade do aço.

f – flexão.

F_a – Força de avanço.

F_{adm} – Carga admissível.

f_{comp} – Flexão composta.

F_{rup} – Carga de ruptura.

FS – Fator de segurança para análise estrutural.

I_b – Corrente de projeto.

J – Momento de inércia.

K – Deformação por flambagem.

L – Comprimento da estrutura.

L_1 – Comprimento da tubulação retilínea.

L_2 – Comprimento equivalente das singularidades.

L_t – Comprimento total da tubulação.

M – Grandeza física momento.

M_{xd} – Momento na direção x do plano de referência utilizado.

M_{yd} – Momento na direção y do plano de referência utilizado.

N_d – Esforço normal.

P – Pressão.

PN – Pressão nominal.

P_{tb} – Pressão de trabalho.

Q – Vazão.

S – Fator de segurança para cilindro hidráulico.

St – Stokes.

v – Velocidade de escoamento do fluido recomendada.

V_d – Esforço cortante.

ΔP – Perda de carga na tubulação.

ε – Limite de escoamento.

$\varepsilon_{m\acute{a}x}$ – Deformação máxima.

λ – Comprimento livre de flambagem.

μ – Massa específica do fluido.

ρ – Densidade linear.

σ – Tensão limite de proporcionalidade.

$\sigma_{m\acute{a}x}$ – Tensão normal máxima.

τ – Cisalhamento.

τ – Tensão de cisalhamento.

ν – Viscosidade do fluido.

Ψ – Fator de atrito.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
2	OBJETIVOS.....	21
2.1	OBJETIVO GERAL	21
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	21
3	REFERENCIAL TEÓRICO.....	22
3.1	MOBILIDADE, ACESSIBILIDADE E DESENHO UNIVERSAL	22
3.2	DISPOSITIVOS DE ELEVAÇÃO PARA USUÁRIOS DE CADEIRA DE RODAS....	23
3.2.1	Elevadores hidráulicos	26
3.2.2	Elevadores movidos pelo sistema fuso e porca.....	27
3.2.3	Elevadores operados por cabos	28
3.3	NORMAS TÉCNICAS PARA PLATAFORMAS ELEVATÓRIAS DE ACESSIBILIDADE	28
3.4	ANÁLISE DE PROJETOS DE ELEVADORES E PLATAFORMAS ELEVATÓRIAS PARA ACESSIBILIDADE.....	31
3.5	CONCEITOS E PRINCÍPIOS BÁSICOS DE HIDRÁULICA, MODELAGEM 3D E ANÁLISE ESTRUTURAL	39
3.5.1	Conceitos e princípios básicos de hidráulica	39
3.5.2	Modelagem 3d e Gerador de Estruturas (frame).....	41
3.5.3	Análise de estrutura utilizando o método dos elementos finitos.....	42
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	44
4.1	CARACTERÍSTICAS DIMENSIONAIS E NORMATIVAS DO TRABALHO.....	44
4.2	OTIMIZAÇÃO DE PROJETO	44
4.3	ESTRATÉGIAS TÉCNICAS.....	45
4.4	SISTEMA HIDRÁULICO	46
4.4.1	Procedimento para dimensionamento cilindro hidráulico	46
4.4.2	Procedimento para dimensionamento de tubulações hidráulicas.....	49
4.5	COMPONENTES DO CIRCUITO HIDRÁULICO.....	51
4.5.1	Válvula de isolamento.....	51
4.5.2	Válvula de retenção.....	52
4.5.3	Válvula limitadora de pressão	52
4.5.4	Válvula de comando de descida.....	53
4.5.5	Válvula de queda, estrangulamento e deslize	53
4.5.6	Válvula reguladora de fluxo.....	54

4.5.7 Filtros	55
4.6 COMPONENTES DA PARTE ELÉTRICA DO CIRCUITO	56
4.6.1 Disjuntor.....	56
4.6.2 Inversor de frequência.....	57
4.6.3 Manipulador joystick	57
4.6.4 Relés.....	58
4.6.5 Fim de curso.....	58
4.7 ANÁLISE ESTRUTURAL.....	59
4.7.1 Modelagem 3D.....	59
4.7.2 Perfis utilizados para confeccionar a estrutura.....	61
4.7.3 Ambiente de análise	63
4.7.4 Análise e otimização dos perfis	66
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	68
5.1 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA HIDRÁULICO.....	68
5.1.1 Cilindro hidráulico	69
5.1.2 Dimensionamento dos diâmetros das tubulações.....	70
5.1.3 Perdas de carga na linha de pressão	71
5.2 DIMENSIONAMENTO DA PARTE ELÉTRICA	72
5.2.1 Dispositivos do circuito	73
5.3 ANÁLISE ESTRUTURAL.....	74
5.4 OTIMIZAÇÃO DOS PERFIS	78
6 CONCLUSÕES	81
6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	81
REFERÊNCIAS	82
APÊNDICE A – PARAMETRIZAÇÃO DO INVERSOR CW 100	89
APÊNDICE B – DESENHO TÉCNICO DE PARTE FIXA DA ESTRUTURA	90
APÊNDICE C – DESENHO TÉCNICO DE PARTE MÓVEL DA ESTRUTURA	91
APÊNDICE D – DESENHO TÉCNICO DE PARTE DA ESTRUTURA COMPLETA.	92
APÊNDICE E – DESENHO TÉCNICO DA CORREDIÇA DE NYLON	93
APÊNDICE F – DESENHO TÉCNICO CICUITOS ELÉTRICO E HIDRÁULICO	94

1 INTRODUÇÃO

A inclusão social de pessoas com deficiência é um direito fundamental que deve ser assegurado em todas as esferas da sociedade. A Constituição da República Federativa do Brasil, de 1988 estabelece que o Estado deve garantir o acesso adequado das pessoas com deficiência aos espaços públicos e privados, por meio de leis que determinam normas de construção e adaptação de ambientes (Brasil, 1988). Essa questão é regulamentada pela Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (Estatuto da Pessoa com Deficiência), nº 13.146 de 6 de junho de 2015, elaborada para assegurar e impulsionar a igualdade no exercício dos direitos e liberdades essenciais das pessoas com deficiência, buscando sua integração social e plena cidadania (Brasil, 2015).

Ainda segundo a Lei nº 13.146, uma das formas de promover condições de igualdade para indivíduos com deficiências é por meio do uso de tecnologias assistivas, que abrange uma variedade de produtos, equipamentos, dispositivos, recursos, metodologias, estratégias, práticas e serviços que têm como objetivo promover a funcionalidade de pessoas com deficiência ou mobilidade reduzida, facilitando sua autonomia, independência, qualidade de vida e inclusão social (Brasil, 2015). Segundo Sousa, Utsch e Cardozo (2024), a tecnologia assistiva engloba uma variedade de recursos e serviços que visam promover a autonomia e a qualidade de vida de pessoas com deficiência. Essa área abrange desde ferramentas simples até soluções tecnológicas mais complexas, com o objetivo de superar barreiras e facilitar a participação em diversas atividades.

Entretanto, vale salientar que as ações atuais não têm sido suficientes para garantir a plena acessibilidade e inclusão social. De acordo com Senado Federal (2024), embora o Brasil possua uma legislação abrangente sobre os direitos das pessoas com deficiência, a implementação eficaz dessas leis ainda enfrenta desafios. A falta de prioridade no orçamento público, aliada a barreiras culturais, impede que muitos indivíduos com deficiência tenham acesso pleno à sociedade, à educação e ao mercado de trabalho. Um estudo de revisão bibliográfica realizado por Borges *et al.* (2021), que envolveu autores que tratam sobre deficiência e também análises governamentais sobre o Programa Viver sem Limites, que deveria ser a principal iniciativa dos programas de inclusão no Brasil, constatou que, a sociedade brasileira ainda enfrenta dificuldades de acesso, devido barreiras arquitetônicas, ambientais, físicas e sociais, o que sugere que as políticas e ações atuais não têm sido suficientes para evitar exclusão e garantir acesso pleno aos direitos fundamentais da pessoa com deficiência.

Completando a análise, um estudo recente da Organização Mundial da Saúde (OMS) e do Fundo das Nações Unidas para Infância (UNICEF) revela uma lacuna alarmante no acesso a produtos assistivos. Mais de 2,5 bilhões de pessoas necessitam desses recursos, mas quase um bilhão não têm acesso, especialmente em países de baixa e média renda, cuja taxa de acesso é inferior a 3% (ONU Brasil, 2022). No contexto brasileiro, a pesquisa Nacional de Amostra de Domicílios Contínua (PNAD Contínua) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) aponta que, em 2022 o Brasil tinha 18,6 milhões de pessoas, ou 8,9% da população com 2 anos ou mais, apresentando algum tipo de deficiência (IBGE, 2024). Isso evidencia a urgente necessidade de implementar dispositivos assistivos e adaptações em espaços públicos e privados para garantir a inclusão desses indivíduos.

Os usuários de cadeiras de rodas vivenciam uma série de limitações em ambientes construídos sem considerar suas necessidades. Conforme apontado por Atchison e Drette (2016), a acessibilidade para pessoas com deficiências físicas é frequentemente limitada por barreiras ambientais. Embora existam leis que garantam o acesso a diversos ambientes, a realidade é que muitas vezes essas normas não são cumpridas, resultando em situações de discriminação e exclusão. A falta de adaptações em espaços públicos e privados, como a ausência de rampas, elevadores e sinalização adequada, impede a participação plena desses indivíduos na sociedade.

Um dos principais obstáculos para a instalação de elevadores é o alto custo de aquisição. Em seus estudos sobre a acessibilidade de pessoas com deficiência, Oliveira, G. C. R. (2017 e 2020) constatou que o elevado custo de aquisição e manutenção de plataformas de elevação, principalmente devido à importação, impede que a maioria dos usuários de cadeiras de rodas tenha acesso a esse equipamento essencial.

Destarte, este trabalho

tem como objetivo aprimorar uma plataforma elevatória hidráulica para cadeirantes com cabine aberta, projetada para instalação em diversos ambientes que apresentem desníveis de até um metro, sem a necessidade de modificações estruturais significativas. Para sua implementação, será necessário apenas a inclusão dos pontos de ancoragem da base e a fixação do atuador hidráulico.

O desenvolvimento do projeto foi conduzido conforme as diretrizes da norma técnica NBR ISO 9386-1 (ABNT, 2013a), garantindo a conformidade com os requisitos regulamentares, tais como limites de velocidade para subida e descida, capacidade mínima de carga que a estrutura deve suportar, além das especificações dos componentes hidráulicos e elétricos a serem empregados.

O projeto consiste na melhoria de uma plataforma elevatória com acionamento por fuso, originalmente projetada e construída por França (2023). Para isso, foi realizada a modelagem e análise estrutural detalhada utilizando o Autodesk Inventor 2024, *software* de modelagem 3D, análise e simulação. Além disso, a ferramenta computacional gratuita DimPerfil foi utilizada para aprimorar os perfis estruturais da plataforma. Por fim, o acionamento por fuso foi substituído por um sistema hidráulico. As alterações foram realizadas com o propósito de assegurar maior segurança e eficiência.

Com o novo mecanismo de acionamento da plataforma de elevação, para movimentar a plataforma no sentido de subida, é utilizada uma central hidráulica acionada por um motor elétrico, controlado através de um inversor de frequência. A descida é controlada por uma válvula solenoide que permite o recuo da plataforma, retornando o óleo para o reservatório. Também foi realizada uma análise preliminar do circuito hidráulico, essencial para a seleção do tipo de bomba, bem como a seleção dos demais elementos que o compõem. Tal procedimento também foi executado no sistema elétrico, viabilizando segurança e funcionalidade para a plataforma.

2 OBJETIVOS

Neste capítulo estão delineados os objetivos do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC).

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar e aprimorar uma plataforma de elevação para pessoas com mobilidade reduzida, por meio da otimização dos seus sistemas estruturais, hidráulicos e elétricos.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir os requisitos funcionais e técnicos da plataforma de elevação, incluindo capacidade de carga, dimensões, altura a ser vencida e tipo de acionamento, baseado nos requisitos de acessibilidade e segurança;
- Dimensionar os sistemas hidráulico e elétrico, para garantir funcionamento eficiente e seguro;
- Modelar a estrutura e realizar análise estrutural em *software* de modelagem 3D, considerando resistência e integridade das partes estruturais;
- Otimizar os perfis utilizados, através de *software* apropriado;
- Analisar a viabilidade técnica e econômica do projeto.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo é feita uma abordagem de conteúdos técnicos e normativos, relevantes para a condução do projeto.

3.1 MOBILIDADE, ACESSIBILIDADE E DESENHO UNIVERSAL

As cidades devem promover a acessibilidade irrestrita aos seus espaços, garantindo o acesso físico, a mobilidade e o contato entre as pessoas. Os conceitos de mobilidade urbana e acessibilidade estão interligados, já que a mobilidade possibilita o deslocamento e a circulação na cidade, enquanto a acessibilidade assegura o pleno acesso aos espaços públicos e privados, seja a pé, de veículo ou por qualquer outro meio de transporte (Ribeiro, 2014). Segundo Pontes (2010), embora os termos mobilidade e acessibilidade sejam frequentemente empregados como sinônimos, a mobilidade está mais associada à intenção de alcançar um local específico e à retirada do indivíduo para se deslocar.

A Lei nº 12.587, que estabelece a Política Nacional de Mobilidade Urbana, caracteriza a mobilidade urbana como a maneira como ocorrem os deslocamentos de indivíduos e mercadorias dentro das áreas urbanas. Já a acessibilidade é definida como a oferta de condições que permitem a qualquer pessoa se locomover de forma independente, garantindo o cumprimento das normas vigentes (Brasil, 2012).

Por um longo período, pessoas com deficiência foram excluídas do espaço urbano, sendo confinadas em suas residências e impedidas de participar da sociedade de forma digna. No entanto, essa situação tem se transformado gradualmente, impulsionada pela conscientização e pela implementação de ações concretas, especialmente nos Estados Unidos e em países europeus. Como resultado, leis e medidas estão sendo estabelecidas para eliminar barreiras nos espaços públicos e facilitar o acesso a edifícios, assegurando que as pessoas com deficiência possam exercer seus direitos e participar da vida urbana (Ribeiro, 2014).

De acordo com Brasil Acessível (2006), para garantir a acessibilidade no ambiente físico das cidades, é crucial eliminar barreiras e adotar o conceito de desenho universal, que consiste em projetar espaços e edifícios que considerem as necessidades de todos os usuários, respeitando suas diferenças individuais. Isso implica na implementação de soluções universais, como guias rebaixadas e rampas nas travessias, que substituem os degraus e facilitam a locomoção de pessoas com mobilidade reduzida, além de calçadas com larguras adequadas para acomodar tanto aqueles que carregam carrinhos de bebê ou de compras, quanto pessoas com

deficiência e restrição de mobilidade. Ao adotar essas medidas, é possível criar cidades mais inclusivas e acessíveis, onde todos possam se locomover com segurança e autonomia.

Brasil Acessível (2006) estabelece sete princípios básicos para o desenho universal, visando garantir que os espaços e produtos sejam acessíveis e utilizáveis por todas as pessoas, independentemente de suas habilidades. Esses princípios incluem:

- a) Uso equiparável: o *design* deve ser útil e comercializável para pessoas com diversas habilidades.
- b) Flexibilidade no uso: o *design* deve atender a uma ampla gama de indivíduos, preferências e habilidades.
- c) Uso simples e intuitivo: o uso do *design* deve ser fácil de entender, independentemente da experiência, nível de educação, idioma ou capacidade de concentração do usuário.
- d) Informação perceptível: a comunicação com o usuário deve ser eficaz, com informações disponíveis independentemente da capacidade sensorial ou das condições ambientais.
- e) Tolerância ao erro: o *design* deve minimizar os riscos e as consequências negativas de ações involuntárias ou imprevistas.
- f) Baixo esforço físico: o *design* deve permitir o uso com o mínimo de esforço, de forma eficiente e confortável.
- g) Tamanho e espaço para aproximação e uso: O *design* deve oferecer espaços e dimensões adequados para interação, alcance, manipulação e uso, independentemente do tamanho, postura ou mobilidade do usuário.

3.2 DISPOSITIVOS DE ELEVAÇÃO PARA USUÁRIOS DE CADEIRA DE RODAS

De acordo com a Cartilha do Elevador (2019), o elevador é um equipamento fundamental para o transporte vertical de pessoas e cargas, composto por uma estrutura complexa que inclui mecanismos de operação. O elevador moderno surgiu no século XIX, evoluindo de sistemas rudimentares a vapor para hidráulicos. O primeiro elevador de segurança foi inventado em 1854, impulsionando a construção de edifícios altos. A eletricidade revolucionou os elevadores em 1880, e inovações como portas automáticas e controles de botão os tornaram mais seguros e convenientes. Hoje, a tecnologia continua aprimorando os elevadores, com foco em eficiência energética e acessibilidade.

A norma NBR ISO 9386-1 define plataformas de elevação vertical como dispositivos motorizados, instalados de forma permanente, projetados para o uso por pessoas com

mobilidade reduzida, seja em pé ou sentadas em cadeiras de rodas, com ou sem assistência (ABNT, 2013a).

Por sua vez, os elevadores de escadaria são definidos pela norma NBR ISO 9386-2 como equipamentos projetados para o transporte de pessoas em pé ou cadeirantes entre diferentes andares. Esses equipamentos utilizam um carro guiado que se movimenta ao longo de um lance de escada, realizando o mesmo percurso tanto na subida quanto na descida (ABNT, 2012).

É comum que os termos "elevador" e "plataforma de elevação" sejam utilizados como sinônimos. Entretanto, é crucial compreender as distinções significativas entre esses equipamentos. Meu Elevador (2019) e Basic Elevadores (2024) exploram tais diferenças, abrangendo aspectos como capacidade, percurso, velocidade, cabine e preço, conforme detalhado.

- Quanto à capacidade, as plataformas de elevação são projetadas para transportar cargas menores, geralmente até 250 kg, o suficiente para uma pessoa em cadeira de rodas e um acompanhante. Já os elevadores suportam cargas maiores, como um elevador para 8 passageiros, que pode transportar até 600 kg.
- Em relação ao percurso, plataformas de elevação são ideais para percursos curtos, de até 4 metros, o que pode ser inviável para residências com mais de dois andares. Os elevadores, por sua vez, possuem maior flexibilidade, com modelos que atendem desde residências com até 12 metros de percurso (elevadores residenciais) até grandes prédios (elevadores de tração).
- A velocidade também é um fator distintivo. Plataformas de elevação são projetadas para percursos curtos e, por isso, possuem velocidade reduzida (até 0,15 m/s). Os elevadores são mais rápidos, especialmente em edifícios altos, embora elevadores hidráulicos operem em velocidades mais lentas (até 0,75 m/s).
- No que se refere à cabine, plataformas de elevação podem ter cabines abertas para percursos de até 2 metros, sendo necessária cabine fechada para percursos de até 4 metros. Já os elevadores sempre possuem cabines fechadas.
- Por fim, o preço é outro ponto de diferenciação. Plataformas de elevação geralmente possuem um custo menor, enquanto os elevadores apresentam uma variação maior, dependendo do tamanho, acabamento e capacidade.

As plataformas de elevação mais utilizadas para pessoas com mobilidade reduzida, segundo Meu Elevador (2021), uma consultoria especializada em auxiliar na compra de elevadores, incluem a plataforma de elevação vertical (com e sem caixa enclausurada), as

plataformas elevatórias inclinadas e a cadeira elevatória. A Figura 1 apresenta uma plataforma de elevação vertical, enquanto a Figura 2 exibe uma versão com caixa enclausurada.

Figura 1 – Plataforma de elevação vertical



Fonte: Adaptado de Meu Elevador (2019).

Figura 2 – Plataforma vertical enclausurada



Fonte: Ortobras (2020).

As plataformas elevatórias inclinadas, por sua vez, possuem uma região espaçosa para acomodar uma cadeira de rodas, permitindo o percurso por distâncias maiores (Meu Elevador, 2021). Um desses modelos encontra-se na fotografia da Figura 3.

A movimentação desse tipo de plataforma pode ser realizada através de diferentes sistemas de acionamento, como os sistemas de correntes e pinhão e cremalheira, conforme apontado por Oliveira, G. C. R. (2020).

Figura 3 – Plataforma elevatória para escadas

Fonte: Meu Elevador (2021).

Meu Elevador (2021) também destaca outra solução de acessibilidade: a cadeira elevatória, apresentada na Figura 4. Essa opção é ideal para pessoas com dificuldades de locomoção que não utilizam cadeiras de rodas, sendo uma alternativa eficiente para residência com espaço limitado. Sua instalação é adaptada à escada, permitindo a otimização do espaço disponível.

Figura 4 – Cadeira elevatória para pessoas com mobilidade reduzida

Fonte: Meu Elevador (2021).

3.2.1 Elevadores hidráulicos

Há diferentes métodos para realizar o acionamento das plataformas mencionadas. Um deles é o sistema hidráulico que, de acordo com Guedes (2017) e Oliveira, G. C. R. (2020), o elevador utiliza um sistema de cilindro hidráulico para funcionar. O princípio básico é o

deslocamento de um cilindro cheio de óleo sob pressão. Um motor elétrico aciona uma bomba hidráulica, que por sua vez aumenta a pressão do óleo e o envia para o cilindro através de mangueiras de alta pressão. Esse movimento do óleo dentro do cilindro gera uma força que impulsiona a cabine do elevador para cima ou para baixo.

Guedes (2017) aponta que o elevador hidráulico apresenta diversas vantagens em relação aos sistemas de tração convencionais. Uma delas é a dispensa da casa de máquinas no topo do edifício, o que otimiza as dimensões do poço do elevador. Além disso, a carga é distribuída pelas calhas de suporte da cabine, eliminando a necessidade de uma estrutura de suporte no topo do edifício. Outro ponto positivo é a possibilidade de instalação remota da casa de máquinas, o que confere maior flexibilidade ao projeto. Adicionalmente, o custo de instalação desse tipo de sistema é inferior ao dos sistemas de tração convencionais.

De acordo com a fabricante Espel Elevadores (2021), o elevador hidráulico apresenta diversas vantagens em relação a outros modelos, como o elétrico. Ele é especialmente útil para pessoas com dificuldade de locomoção, facilitando o acesso a todos os andares da casa. Além disso, economiza espaço, pois não necessita de casa de máquinas, e energia elétrica, já que não gasta energia na descida. É mais silencioso e possui uma descida mais leve do que os elevadores elétricos. Outro ponto positivo é a sua maior potência e força, impulsionada pela pressão dos pistões hidráulicos, e não por um motor.

A norma NBR ISO 9386-1 descreve que elevadores hidráulicos destinados a pessoas com mobilidade reduzida podem ter um percurso máximo de 4 metros quando instalados em uma caixa enclausurada. Caso contrário, o limite é de 2 metros para uso público e 4 metros para uso privado. Além disso, esses elevadores devem ter uma capacidade máxima de 250 kg e não podem ultrapassar a velocidade de 0,15 m/s. Devido à sua estrutura compacta, são especialmente adequados para instalação em espaços limitados, como em residências (ABNT, 2013a).

3.2.2 Elevadores movidos pelo sistema fuso e porca

Em contraste com outros modelos, um elevador operado por um sistema de fuso se distingue por ter um número reduzido de componentes na transmissão. O acionamento do elevador pode ser realizado por moto redutores, motores elétricos, sistemas hidráulicos, pneumáticos ou de forma manual (Oliveira, G. C. R., 2017, 2020).

A norma NBR ISO 9386-1 estabelece que elevadores operados por fuso destinados a pessoas com mobilidade reduzida devem ser projetados com um coeficiente de segurança

mínimo de 6 para o fuso acionador, garantindo resistência adequada ao impacto e ao desgaste. Esses elevadores podem ser utilizados em percursos de até 4 metros, independentemente de estarem ou não em uma caixa enclausurada. A capacidade máxima permitida é de 250 kg, e a velocidade não deve exceder 0,15 m/s. A utilização de fusos e porcas de metal, juntamente com a proteção de partes móveis, torna esses elevadores uma opção segura e eficiente. Sua estrutura permite instalação em espaços reduzidos, sendo especialmente adequados para residências e locais com acesso restrito (ABNT, 2013a).

3.2.3 *Elevadores operados por cabos*

O elevador de tração por cabo é amplamente utilizado para transporte vertical em edifícios comerciais. Esse modelo requer um espaço específico para a instalação da casa de máquinas, onde ficam o motor e as polias responsáveis pelo movimento. A cabine é sustentada por cabos de aço, os quais são acionados por um sistema de roldanas ligado a um motor elétrico, permitindo sua ignição e descida. Essa configuração é essencial para o desempenho eficiente do elevador e exige um planejamento detalhado durante a instalação, garantindo o cumprimento das normas de segurança (Cartilha do Elevador, 2019).

A norma NBR ISO 9386-1 especifica que elevadores operados por cabos de suspensão devem ser projetados com um coeficiente de segurança mínimo de 12 para os cabos, garantindo resistência adequada à carga. Esses elevadores podem ser utilizados em percursos de até 4 metros, independentemente de estarem ou não em uma caixa enclausurada. A capacidade máxima permitida é de 250 kg, e a velocidade não deve exceder 0,15 m/s. Os cabos devem ser fixados de forma segura, utilizando dispositivos apropriados, e devem ser providos de pelo menos dois cabos para garantir a segurança. A estrutura robusta e a possibilidade de instalação em espaços reduzidos tornam esses elevadores uma opção viável para residências e locais com acesso restrito (ABNT, 2013a).

3.3 NORMAS TÉCNICAS PARA PLATAFORMAS ELEVATÓRIAS DE ACESSIBILIDADE

As normas brasileiras (NBR) desempenham um papel fundamental na garantia da segurança em processos, construções, instalações e na circulação de documentos. Por sua vez, as NBR ISO correspondem às normas da *International Organization for Standardization* (ISO), a organização internacional responsável pela criação de padronizações com validade global (Tumulero, 2020).

As normas NBR ISO 9386-1 (ABNT, 2013a) e NBR ISO 9386-2 (ABNT, 2012) estabelecem diretrizes para equipamentos de elevação destinados a pessoas com mobilidade reduzida, mas se diferenciam em relação ao tipo de equipamento e, conseqüentemente, nos requisitos específicos de segurança e funcionalidade. A NBR ISO 9386-1 foca em plataformas de elevação vertical motorizadas, projetadas para atender às necessidades de pessoas com mobilidade reduzida, incluindo aquelas que utilizam cadeiras de rodas ou necessitam de assistência. Essa norma abrange tanto plataformas instaladas em caixas enclausuradas quanto aquelas que operam em áreas abertas, desde que sejam fixadas permanentemente. Além disso, a norma define parâmetros importantes como altura máxima de deslocamento, velocidade e carga nominal, garantindo a segurança e a funcionalidade desses equipamentos.

Já a NBR ISO 9386-2 estabelece requisitos para elevadores de escadaria motorizados, destinados ao uso por pessoas com mobilidade reduzida, incluindo usuários sentados, em pé e em cadeira de rodas, que se deslocam em um plano inclinado. Essa norma é aplicável a elevadores que operam entre níveis fixos em escadas ou superfícies inclinadas. Os principais aspectos abordados incluem segurança, com proteções contra riscos como cortes, esmagamentos e quedas (ABNT, 2012).

A NBR 9050 determina os critérios para acessibilidade em edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos, visando garantir o uso autônomo, independente e seguro por todas as pessoas, independentemente de suas condições. A norma abrange desde o escopo e aplicação, que define a obrigatoriedade do atendimento aos critérios de acessibilidade em projetos, reformas e adaptações, até os princípios do desenho universal, que preconizam o uso equitativo, flexível, simples e intuitivo (ABNT, 2020a).

Além disso, a NBR 9050 especifica parâmetros antropométricos detalhados, com medidas e dimensões que garantem a acessibilidade para diferentes tipos de usuários, incluindo pessoas em pé e cadeirantes. A norma também define requisitos para sinalização visual e tátil, assegurando que as informações sejam claras e acessíveis a todos, e oferece orientações sobre a acessibilidade em equipamentos urbanos, como mobiliário e sinalização, para que sejam utilizáveis por todas as pessoas (ABNT, 2020a).

A NBR 12892 estabelece requisitos de segurança para a construção e instalação de elevadores unifamiliares ou para uso de pessoas com mobilidade reduzida, com o objetivo de garantir a segurança de usuários e objetos durante o uso normal, manutenção e operações de emergência. Aplicável a elevadores com capacidade, velocidade e percurso limitados, que utilizam sistemas de tração ou hidráulicos, a norma determina que os elevadores devem ser projetados para atender necessidades específicas, como acessibilidade para pessoas com

mobilidade reduzida, além de ocupar menos espaço, ser energeticamente eficientes e ter um custo reduzido de instalação e manutenção (ABNT, 2022a).

As normas ABNT NBR 16858, em suas partes 1, 2 e 3, estabelecem requisitos de segurança para elevadores, cada uma com um foco específico. A NBR 16858-1 (ABNT, 2021) define os requisitos gerais de segurança para elevadores de passageiros e de carga, abrangendo desde a identificação de perigos até informações de uso, e se destaca por ser uma norma tipo C, com disposições que prevalecem sobre outras normas em casos de máquinas projetadas conforme suas diretrizes. A NBR 16858-2 (ABNT, 2020b), por sua vez, foca nos aspectos de projeto, cálculos, inspeções e ensaios de componentes, sendo parte de um conjunto de normas para diversos aparelhos de elevação, incluindo elevadores de passageiros e de carga. Já a NBR 16858-3 (ABNT, 2022b) se dedica à acessibilidade, estabelecendo requisitos de segurança para a construção e instalação de elevadores de passageiros e de carga que garantam o acesso e uso seguros e independentes por pessoas com deficiência.

A Tabela 1 apresenta um comparativo das normas descritas.

Tabela 1 – Comparativos de normas para elevadores e plataformas de acessibilidade

Norma	Tipo	Foco	Principais Aspectos
NBR ISO 9386-1 (ABNT, 2013a)	Plataforma de elevação vertical motorizada	Diretrizes para plataformas fixas para pessoas com mobilidade reduzida	Altura, velocidade, carga nominal, segurança
NBR ISO 9386-2 (ABNT, 2012)	Elevador de escadaria motorizado	Requisitos para elevadores em planos inclinados	Segurança, velocidade, carga nominal, dimensões, operação funcional
NBR 9050 (ABNT, 2020a)	Acessibilidade geral	Critérios para acessibilidade em edificações e espaços urbanos	Desenho universal, medidas antropométricas, sinalização tátil e visual
NBR 12892 (ABNT, 2022a)	Elevador unifamiliar ou para mobilidade reduzida	Segurança na construção e instalação de elevadores de pequeno porte	Capacidade limitada, sistemas de tração/hidráulicos, eficiência energética
NBR 16858-1 (ABNT, 2021)	Elevadores de passageiros e carga	Requisitos gerais de segurança para elevadores	Identificação de perigos, informações de uso
NBR 16858-2 (ABNT, 2020b)	Projeto e componentes de elevadores	Cálculos, inspeções e ensaios de componentes	Requisitos de projeto, cálculos, inspeções e ensaios de elevadores
NBR 16858-3 (ABNT, 2022b)	Acessibilidade em elevadores	Segurança na construção e instalação	Requisitos para acesso e uso seguros de elevadores

Fonte: Autoria própria (2025).

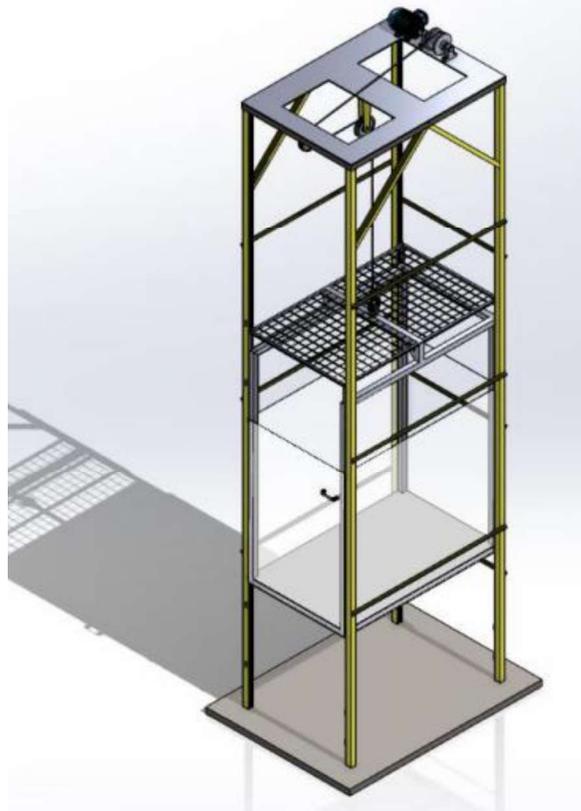
3.4 ANÁLISE DE PROJETOS DE ELEVADORES E PLATAFORMAS ELEVATÓRIAS PARA ACESSIBILIDADE

Neste subtópico encontram-se os resultados de um estudo de trabalhos acadêmicos, cuja finalidade principal consiste no desenvolvimento de projetos de elevadores ou plataformas de elevação, com foco na inclusão e na acessibilidade, visando, principalmente, atender pessoas com mobilidade reduzida, que necessitam de cadeira de rodas para se locomoverem e, conseqüentemente, carecem de dispositivos assistivos para superar barreiras, como escadas e desníveis. Foram pesquisados trabalhos acadêmicos dos últimos oito anos, desenvolvidos e em língua portuguesa, por meio da ferramenta Google Acadêmico. Dentre os projetos analisados, são mencionados aqueles com melhor elaboração, com estudos mais aprofundados e, portanto, considerados mais relevantes.

Diversos pesquisadores têm se dedicado ao desenvolvimento de soluções para melhorar a acessibilidade de pessoas com mobilidade reduzida. Oliveira, G. I. A. (2022), por exemplo, contribuiu para essa área ao realizar um estudo sobre o dimensionamento de alguns componentes de um elevador motorizado, de cabos, utilizando o software SolidWorks para realizar a análise da estrutura e baseou seu projeto nas normas NBR 9386-1 (ABNT, 2013a), NBR 16042 (ABNT, 2013b) e NBR 12892 (ABNT, 2022a). No entanto, é importante ressaltar que o trabalho se concentrou em uma parte específica do sistema, deixando margem para investigações mais aprofundadas sobre outros aspectos do projeto.

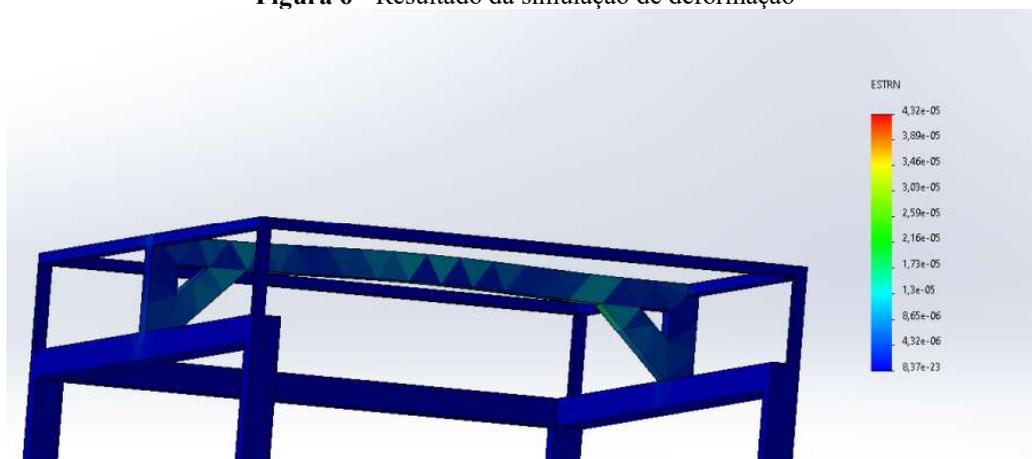
Na Figura 5 pode ser vista a montagem completa da plataforma de elevação. O resultado da simulação com uma tração de 3 kN puxando para cima, no centro da cabine encontra-se na Figura 6. A maior deformação e ponto de ruptura é na intercessão da barra central, conforme Oliveira, G. I. A. (2022).

Figura 5 – Montagem completa da plataforma de elevação



Fonte: Oliveira, G. I. A. (2022).

Figura 6 - Resultado da simulação de deformação



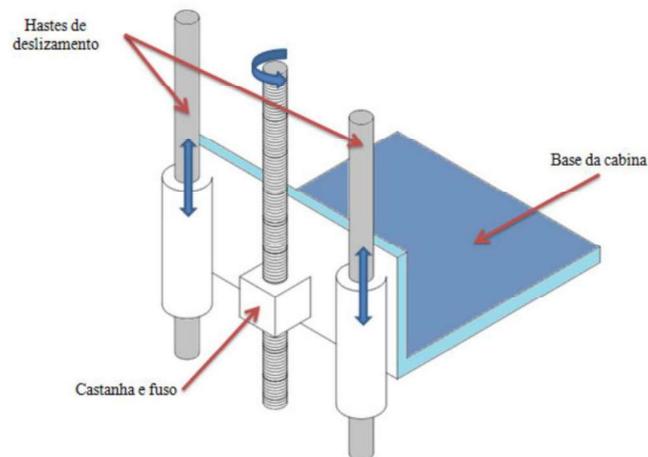
Fonte: Oliveira, G. I. A. (2022).

Oliveira, G. C. R. (2017) destaca a relevância da tecnologia assistiva para a inclusão social de pessoas com mobilidade reduzida. Em seu trabalho de conclusão de curso, o autor projetou um elevador acessível de baixo custo, operado por motor elétrico e projetado para atender às normas técnicas NBR ISO 9386-1 (ABNT, 2013a) e ABNT NBR 9050 (ABNT, 2020a), da ABNT. A solução proposta, que utiliza um sistema de fuso e castanha para a movimentação da cabine, demonstra como a engenharia pode contribuir para superar barreiras arquitetônicas e sociais. O projeto destaca-se pela sua simplicidade e eficiência. O autor

realizou cálculos para dimensionamento do fuso, motor, acoplamento, rolamentos, e realiza uma análise estrutural de deflexão na cabine, utilizando uma análise de elementos finitos (MEF), utilizando o *software* Solidworks.

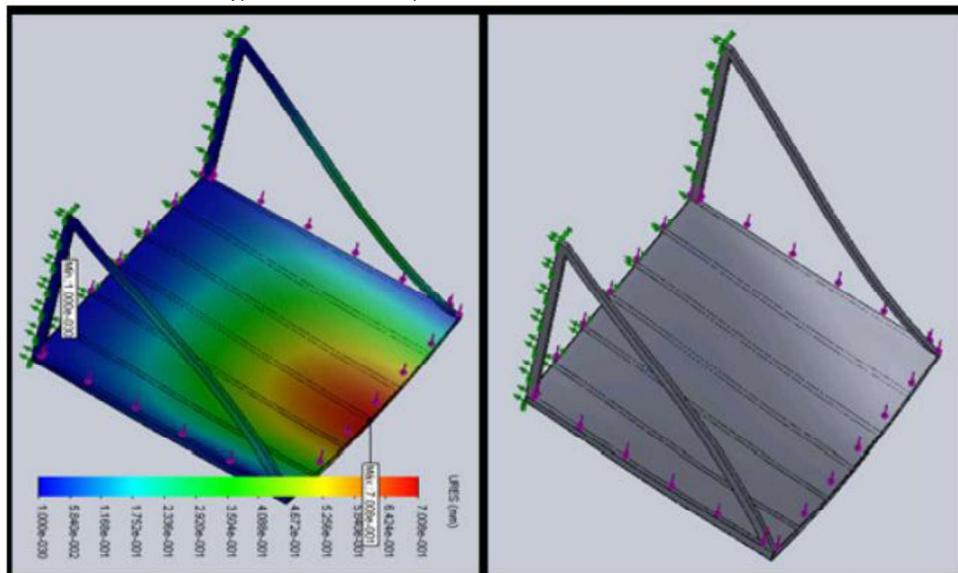
Na Figura 7 encontra-se a perspectiva da base do elevador movimentado pelo fuso. A Figura 8 apresenta a simulação por deflexão na base da cabina. Para aumentar a área de fixação da base, além dos elementos de barra na base, foram adicionadas duas barras verticais de metalon. O deslocamento de deflexão resultante é de 0,7 mm (Oliveira, G. C. R, 2020).

Figura 7 - Perspectiva da base do elevador movimentado pelo fuso



Fonte: Oliveira, G. C. R. (2017).

Figura 8 – Simulação de deflexão na base da cabina



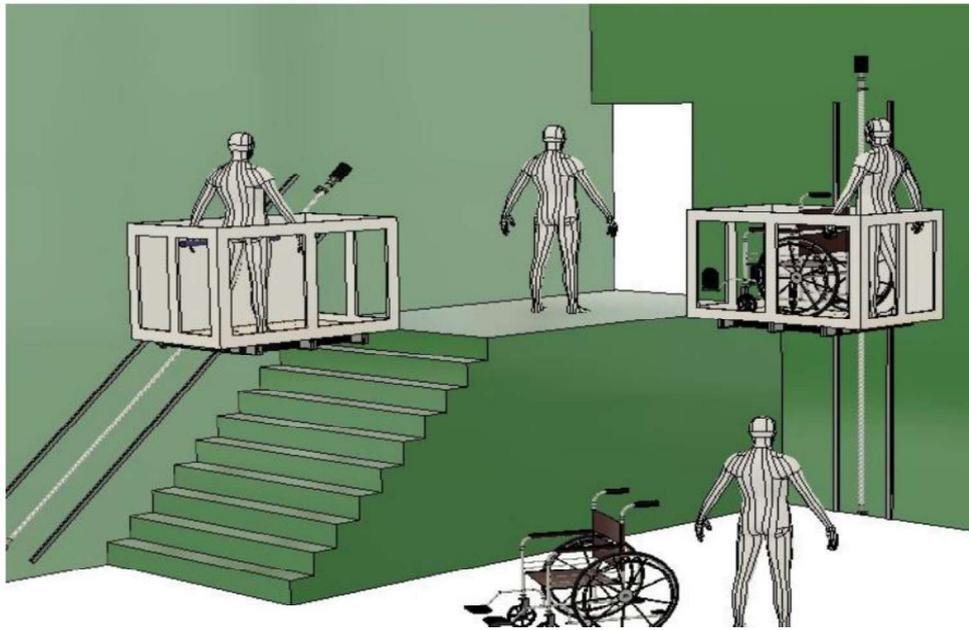
Fonte: Oliveira, G. C. R. (2017).

Em sua dissertação de mestrado, Oliveira, G.C.R. (2020) apresenta um estudo detalhado sobre o dimensionamento de um elevador assistivo, com foco na aplicação de um sistema de porca-fuso e em uma estrutura mecânica versátil, abordando aspectos técnicos como a seleção

de materiais, os cálculos estruturais e a conformidade com as normas NBR ISO 9386-1 (ABNT, 2013a) e ABNT NBR 9050 (ABNT, 2020a), tendo como objetivo principal, desenvolver uma solução acessível e segura para pessoas com mobilidade reduzida, considerando as limitações financeiras e espaciais encontradas em muitos ambientes. Foram realizadas a seleção e dimensionamento dos componentes criteriosos. Um estudo numérico utilizando MEF, da base do elevador foi realizado, com a ferramenta Autodesk Fusion.

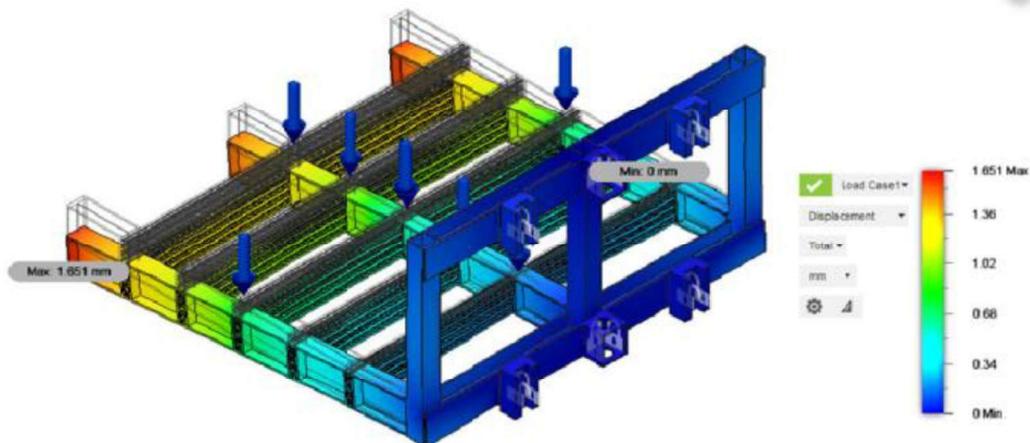
Na Figura 9 são apresentados os modelos desenvolvidos: elevador tipo plano inclinado e elevador vertical. A deflexão máxima da plataforma carregada resultou em 1,65 mm, conforme exibe a Figura 10 (Oliveira, G. C. R., 2020).

Figura 9 - Modelos desenvolvidos: elevador tipo plano inclinado e elevador vertical



Fonte: Oliveira, G. C.R. (2020).

Figura 10 – Deslocamento na base do elevador, estrutura em corte

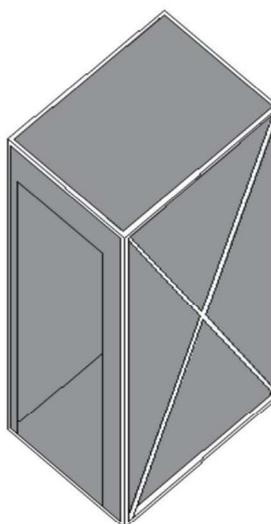


Fonte: Oliveira, G. C. R. (2020).

Santana (2020) projetou um elevador para um prédio, com o objetivo de atender às necessidades de acessibilidade de todos os usuários, incluindo pessoas com mobilidade reduzida. O estudo destaca a importância da Lei nº 10.098 (Brasil, 2000) e das normas NBR 16042 (ABNT, 2013b) e NBR 9050 (ABNT, 2020a) para garantir a segurança e a autonomia dos usuários, utilizando cálculos matemáticos e estudos bibliográficos para dimensionar o equipamento e apresentar a melhor proposta para o prédio em questão. A pesquisa demonstra a viabilidade de encontrar componentes disponíveis no mercado que atendam aos requisitos de segurança e funcionalidade, evidenciando a importância da aplicação prática de conhecimentos teóricos para promover a acessibilidade e a inclusão social de todos os usuários do prédio.

A Figura 11 apresenta a modelagem 3D da cabine do elevador projetado por Santana (2020).

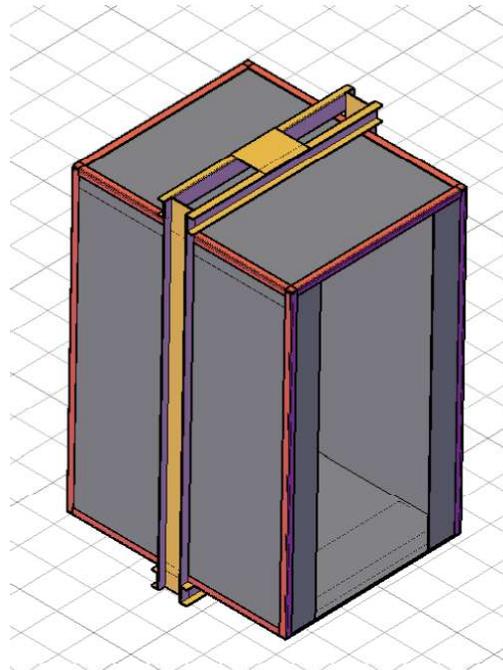
Figura 11 – Montagem da cabine do elevador



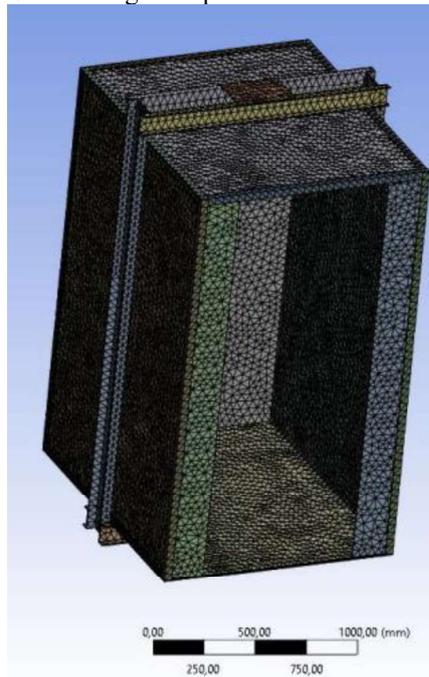
Fonte: Adaptado de Santana (2020).

Oliveira, P. O. (2023) desenvolveu um projeto de um elevador residencial elétrico e com cabos, com foco na acessibilidade de pessoas com deficiência física. O ele realizou o dimensionamento dos componentes mecânicos e utilizou o MEF para analisar a estrutura, por meio do software Autodesk Fusion. O trabalho menciona diversas normas que são relevantes para o dimensionamento e projeto de elevadores. No entanto, para o dimensionamento efetivo do elevador, o autor optou por seguir especificamente as diretrizes da NBR 16858-2 (ABNT, 2020b). O estudo demonstra como a engenharia pode contribuir para a criação de soluções personalizadas e eficientes para atender às necessidades específicas de cada indivíduo.

A Figura 12 mostra o projeto CAD do Elevador. Já a malha de 40 mm, gerada para análise numérica utilizando MEF é exibida na Figura 13 (Oliveira, P. O., 2023).

Figura 12 – Projeto CAD do elevador

Fonte: Oliveira, P. O. (2023).

Figura 13 - Malha gerada para tamanho de malha 40 mm

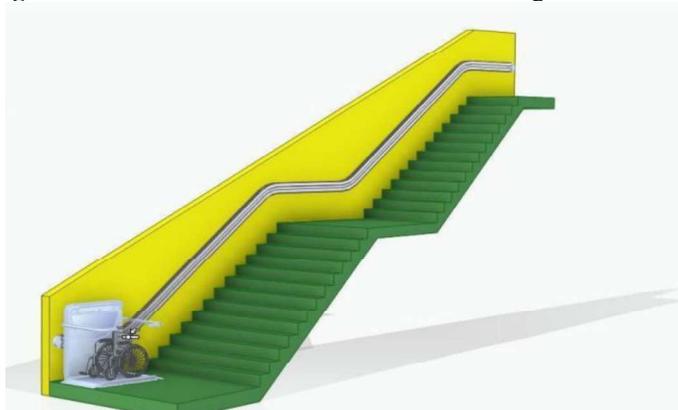
Fonte: Oliveira, P. O. (2023).

Barbosa e Coelho (2023) apresentaram o projeto de uma plataforma elevatória para escadas, demonstrando a aplicação das normas técnicas brasileiras para garantir a acessibilidade. Os autores utilizaram modelagem 3D para visualizar a solução proposta. O estudo desenvolveu uma plataforma externa para a acessibilidade em uma escola de educação infantil, seguindo as diretrizes das normas NBR 9050 (ABNT, 2020a) e NBR ISO 9386-2 (ABNT, 2012). No entanto, destaca-se a ausência de cálculos para o dimensionamento dos

componentes estruturais e a não utilização de *software* específico para a análise estrutural do projeto.

A Figura 14 apresenta a plataforma de elevação modelada (Barbosa e Coelho, 2023).

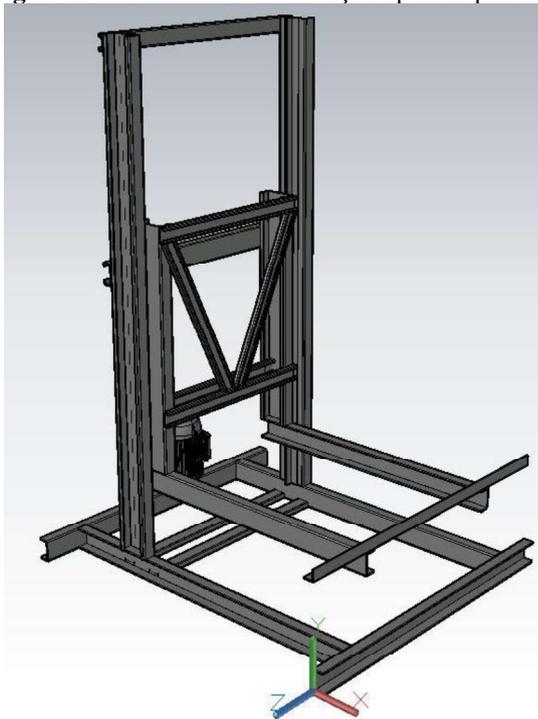
Figura 14 - Plataforma elevatória de escadas com guia do carrinho



Fonte: Barbosa e Coelho (2023).

França (2023) desenvolveu um protótipo de plataforma individual para pessoas com deficiência, demonstrando a aplicação de princípios de automação para facilitar o acesso a diferentes níveis em residências. A autora utilizou um sistema de fuso e motor para realizar a elevação vertical da plataforma, visando garantir a segurança e estabilidade do usuário. O estudo propôs uma solução para superar obstáculos como escadas e degraus, comuns em ambientes residenciais. No entanto, o trabalho não apresentou uma análise detalhada dos cálculos de dimensionamento dos componentes do protótipo, nem a utilização de *softwares* específicos para análise estrutural.

A modelagem 3D da plataforma de elevação pode ser observada na Figura 15 (França, 2023).

Figura 15 – Plataforma de elevação operada por fuso

Fonte: França (2023).

A Tabela 2 apresenta um resumo com as principais informações dos trabalhos destacados.

Tabela 2 – Comparativo de projetos de elevadores para acessibilidade

Autor(es)	Tipo de plataforma	Software utilizado para análise estrutural	Normas técnicas seguidas
Oliveira, G. I. A (2022)	Tração por cabos	SolidWorks	NBR 9386-1 (ABNT, 2013a) NBR 16042 (ABNT, 2013b) NBR 12892 (ABNT, 2022a)
Oliveira, G. C. R. (2017)	Sistema de fuso	SolidWorks	NBR ISO 9386-1 (ABNT, 2013a) NBR 9050 (ABNT, 2020a)
Oliveira, G. C. R. (2020)	Sistema fuso, em escadas	Autodesk Fusion	NBR ISO 9386-1 (ABNT, 2013a) NBR ISO 9386-2 (ABNT, 2012) NBR 9050 (2020a)
Santana (2020)	Tração por cabos	Não utilizado	NBR 16042 (ABNT, 2012) NBR 9050 (ABNT, 2020a) Lei nº 10.098 (Brasil, 2000)
Oliveira, P. O. (2023)	Tração por cabos	Autodesk Fusion	NBR 16858-2 (ABNT, 2020)
Barbosa e Coelho (2023)	Plataforma de elevação em escadas	Não utilizado	NBR 9050 (ABNT, 2020) NBR ISO 9386-2 (ABNT, 2012)
França (2023)	Sistema de fuso	Não utilizado	Não utilizado

Fonte: Autoria própria (2025).

3.5 CONCEITOS E PRINCÍPIOS BÁSICOS DE HIDRÁULICA, MODELAGEM 3D E ANÁLISE ESTRUTURAL

Este subtópico aborda princípios básicos de hidráulica, modelagem 3D e análise estrutural de maneira individualizada, cuja compreensão é fundamental para a interpretação da metodologia utilizada no dimensionamento da plataforma de elevação.

3.5.1 *Conceitos e princípios básicos de hidráulica*

De acordo com Azevedo Netto *et al.* (2015), a hidráulica é a ciência que se dedica ao estudo do comportamento de fluidos, abrangendo tanto a água quanto outros líquidos, em situações de repouso ou movimento. Segundo Fialho (2018), a hidráulica é o campo da ciência que se dedica ao estudo do comportamento de líquidos, tanto em repouso quanto em movimento, e sob diversas condições de pressão. Através da manipulação de fluidos como óleo ou água, a hidráulica permite a transferência de energia.

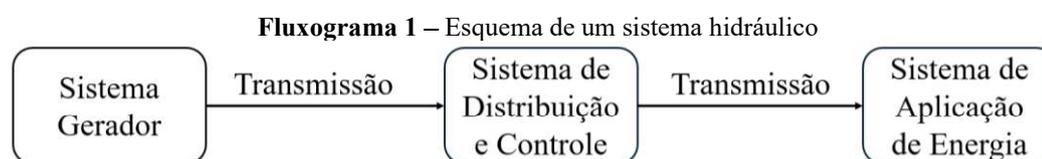
A hidráulica se divide em duas categorias principais: a hidráulica geral ou teórica e a hidráulica aplicada ou hidrotécnica. A primeira se concentra nos fundamentos teóricos e se subdivide em hidrostática, que estuda fluidos em repouso, hidrocinemática, que analisa o movimento dos fluidos sem considerar as forças atuantes, e hidrodinâmica, que investiga as relações entre as forças e o movimento dos fluidos (Azevedo Netto *et al.*, 2015).

Os principais conceitos de hidráulica são classificados de acordo com Fialho (2018):

- **Fluido:** qualquer substância que possa fluir e se moldar ao recipiente que a contém.
- **Viscosidade de um fluido:** é definida como a resistência ao movimento de suas moléculas. A viscosidade é dada pela relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de cisalhamento do fluido. A viscosidade é a propriedade mais importante do fluido.
- **Pressão hidrostática:** pressão hidrostática é definida como a força que um fluido exerce por unidade de área do recipiente que o contém. A unidade de medida da pressão no Sistema Internacional de Unidades (SI) é o Pascal (Pa), que corresponde a 1 Newton por metro quadrado (N/m²).
- **Vazão:** quantidade de fluido que passa por um determinado ponto em um certo período. Essa medida pode ser expressa pelo volume de fluido por unidade de tempo, em que o volume de fluido que é descarregado por uma bomba em um intervalo de tempo específico. E também, pela velocidade e seção transversal, cuja velocidade com que o fluido se move em uma tubulação é multiplicada pela área da seção transversal dessa

tubulação. A unidade de medida da vazão no Sistema Internacional de Unidades (SI) é o metro cúbico por segundo (m^3/s).

O sistema hidráulico, independentemente da aplicação, segue uma estrutura básica composta por três partes principais. O Sistema de Geração é responsável pela produção e armazenamento da energia hidráulica, sendo formado por componentes como reservatórios, filtros, bombas, motores, acumuladores e intensificadores de pressão. O Sistema de Distribuição e Controle regula o fluxo e a pressão do fluido por meio de válvulas controladoras de vazão, pressão e direcionais. Por fim, o Sistema de Aplicação de Energia transforma a energia hidráulica em trabalho mecânico, utilizando atuadores como cilindros (atuadores lineares), motores hidráulicos e osciladores. Esse esquema é representado por um fluxo de transmissão entre essas três etapas, conforme exhibe o Fluxograma 1 (Fialho, 2018).



Fonte: Adaptado de Fialho (2018).

Os sistemas hidráulicos possuem diversas vantagens em relação aos mecânicos e elétricos. Sua instalação é fácil e flexível, inclusive em espaços reduzidos, algo que os sistemas mecânicos não oferecem. Devido à baixa inércia, permitem inversões de movimento rápidas e suaves, além de ajustes micrométricos de velocidade, enquanto os sistemas mecânicos e elétricos possuem ajustes escalonados, mais complexos e onerosos. Além disso, são auto lubrificadas, ao contrário dos outros sistemas, e apresentam uma relação peso, tamanho e potência consumida muito menor. Também possuem fácil proteção e, graças à excelente condutividade térmica do óleo, o próprio reservatório muitas vezes dispensa o uso de trocadores de calor (Fialho, 2018).

Ainda de acordo com Fialho (2018), os sistemas hidráulicos apresentam algumas desvantagens em comparação aos mecânicos e elétricos. O custo inicial é elevado, e a conversão de energia elétrica em mecânica, depois para hidráulica e novamente para mecânica resulta em perdas de eficiência. Além disso, há perdas por vazamentos e atritos internos e externos, o que reduz ainda mais o rendimento do sistema. Outro ponto crítico é o risco de incêndio, já que o óleo utilizado é inflamável.

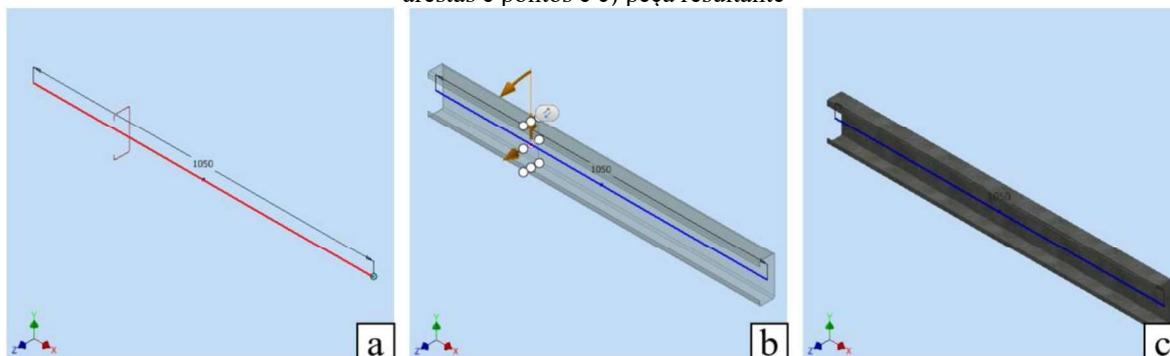
3.5.2 Modelagem 3d e Gerador de Estruturas (*frame*)

A modelagem 3D é um processo que utiliza *softwares* especializados para criar representações matemáticas de objetos ou formas tridimensionais. O resultado desse processo é um modelo 3D, que encontra aplicações em diversos setores, desde a indústria de entretenimento e *design* até a arquitetura e engenharia (Autodesk, 2022). Essa técnica permite aos profissionais visualizar e manipular objetos em um ambiente virtual antes de sua criação física, facilitando a identificação de possíveis problemas e otimizações no projeto.

Existem diferentes formas de realizar modelagens 3D no *software* Autodesk Inventor, sendo uma delas, o Gerador de Estruturas que, de acordo com Waguespack (2014), é um conjunto de ferramentas que automatiza a modelagem estrutural, permitindo a seleção de linhas, arestas e pontos para definir a localização dos membros. A partir dessas seleções, é gerada uma peça chamada esqueleto, que serve como base para a estrutura. Sempre que a geometria original sofre alterações, a peça esqueleto é automaticamente atualizada, ajustando o tamanho ou a posição dos membros da estrutura. Os perfis estruturais utilizados pelo Gerador de Estruturas são provenientes do centro de conteúdo. Além dos perfis disponíveis nas bibliotecas do Autodesk Inventor, o usuário tem a opção de criar e publicar seus próprios perfis, o que se mostra útil para a inclusão de diversos materiais.

Na Figura 16, observa-se a seleção de linhas, arestas e pontos, elementos utilizados como base para a criação da estrutura. Nela está apresentada a peça resultante, gerada através do Gerador de Estruturas, com o tipo de perfil previamente selecionado e exportado para a biblioteca, sendo este do tipo U enrijecido.

Figura 16 – Processo de geração de estrutura: a) linhas, arestas e pontos, b) geração da peça, a partir das linhas, arestas e pontos e c) peça resultante



Fonte: Autoria própria (2025).

Conforme Toteles e Aalhaffis (2021), a utilização de frames em projetos de engenharia oferece vantagens como a versatilidade, permitindo a adaptação de tubos em diversas variações e tamanhos para otimizar o *design* da estrutura. Além disso, a eficiência na montagem é notável,

com técnicas que garantem alinhamento preciso e conexões robustas. A análise de tensões durante o *design* possibilita a otimização da estrutura para suportar diversas condições de carga, contribuindo para a segurança e o desempenho da peça ao longo de sua vida útil.

3.5.3 *Análise de estrutura utilizando o método dos elementos finitos*

Os procedimentos de elementos finitos são amplamente utilizados em análises, abrangendo áreas como análise de sólidos e estruturas, transferência de calor e fluidos. Sua aplicação é vasta em diversos campos da engenharia. A essência da solução do MEF reside na criação e resolução de um conjunto de equações algébricas, processo que se tornou eficaz e amplamente aplicável graças ao uso do computador digital. As propriedades de eficácia e aplicabilidade geral, inerentes à teoria utilizada, foram aprimoradas para cálculos práticos, resultando na ampla aceitação dos MEF na prática da engenharia (Bathe, 2007).

Embora os termos "análise de tensões" e "método de elementos finitos" sejam frequentemente utilizados de forma intercambiável, é importante compreender suas nuances no contexto das ferramentas disponíveis no ambiente de análise de tensões do inventor. A MEF, nesse contexto, é definida como a análise de um objeto complexo, realizada através da divisão desse objeto em uma malha de elementos menores, sobre os quais cálculos gerenciáveis podem ser executados. A análise de tensões do Inventor, por sua vez, emprega essa metodologia para possibilitar a análise do projeto sob condições específicas determinadas pelo usuário, com o objetivo de identificar tendências básicas relacionadas aos detalhes do projeto em questão (Waguespack, 2014).

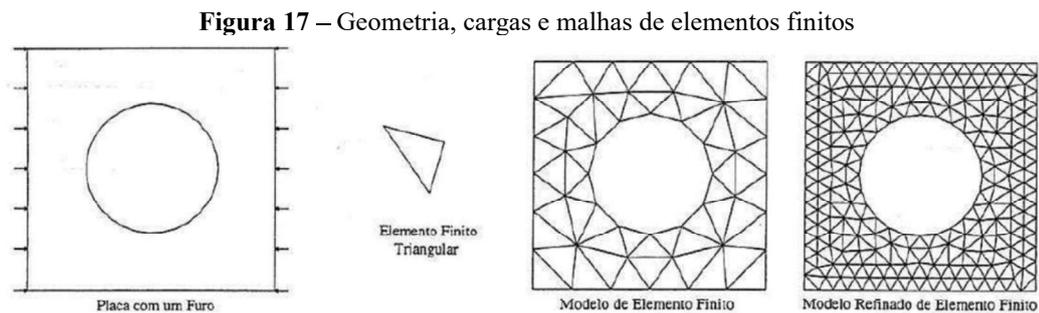
A Simulação Dinâmica permite definir os componentes de um modelo em movimento, analisando a interação entre as peças e determinando as forças exercidas entre eles. Nesse ambiente de simulação, é possível definir a maneira como as peças se relacionam e como as forças presentes geram movimento ao longo do tempo. Através da simulação, é possível determinar como e quando as peças interagem, bem como a intensidade da força presente em qualquer instante (Waguespack, 2014).

Os métodos analíticos clássicos, baseados na solução de equações diferenciais, possibilitam calcular com precisão deslocamentos, deformações e tensões em todos os pontos de estruturas, mas se limitam a geometrias simples e condições de contorno bem definidas. As técnicas de discretização de sistemas contínuos, por sua vez, superam essa limitação ao tratar o sistema estrutural como discreto, permitindo calcular deslocamentos em pontos específicos (nós do modelo). A quantidade de pontos discretos é escolhida para representar o deslocamento da

estrutura de forma aproximada, possibilitando o cálculo de deformações e tensões. Os Elementos Finitos, que descrevem trechos da estrutura entre os nós, representam como as cargas se propagam e deformam a estrutura. A partir dos deslocamentos nodais, é possível calcular, por Interpolação, os Deslocamentos dentro dos Elementos e, conseqüentemente, as deformações (Alves Filho, 2009).

Fish (2009) destaca que, diante da dificuldade de aplicar métodos analíticos clássicos, como a separação de variáveis, a problemas de engenharia com geometrias complexas, o MEF oferece uma solução alternativa eficaz. A abordagem do MEF consiste em dividir o corpo em elementos finitos interconectados, formando uma malha, e, em seguida, resolver um sistema de equações lineares para determinar a solução aproximada. A precisão dessa solução está relacionada ao número de elementos e nós utilizados, sendo que um aumento geralmente leva a resultados mais precisos, embora com maior custo computacional.

A Figura 17 mostra a geometria, cargas e malhas de elementos finitos, em uma placa com um furo.



Fonte: Adaptado de Fish (2009).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo está descrita a metodologia utilizada para realizar o trabalho, bem como os componentes utilizados na plataforma de elevação.

4.1 CARACTERÍSTICAS DIMENSIONAIS E NORMATIVAS DO TRABALHO

Neste projeto foi seguida a norma NBR ISO 9386-1 (ABNT, 2013a). A escolha se justifica pela sua especificidade e adequação às características do equipamento proposto, visto que ela abrange plataformas de elevação verticais motorizadas, incluindo diretrizes específicas para elevadores e plataformas de elevação hidráulicas.

A NBR ISO 9386-1 (ABNT, 2013a) também é seguida por fabricantes como Ortobras (2020) e IESAB (2016). Além disso, Oliveira, G. I. A. (2022), Oliveira, G. C. R (2017 e 2020), e Barbosa e Coelho (2023), também seguiram orientações dessa norma em seus projetos.

Na Tabela 3 são apresentadas características dimensionais da plataforma de elevação que é otimizada no projeto.

Tabela 3 – Características dimensionais e normativas do trabalho

Carga nominal mínima [kg]	250
Percurso máximo [m]	1
Dimensões mínimas do piso interno [mm]	800 x 1250
Velocidade nominal máxima [m/s]	0,15
Tipo de acionamento	Hidráulico
Mecanismo de acionamento	Motor elétrico acionado por inversor de frequência

Fonte: Autoria própria (2025).

4.2 OTIMIZAÇÃO DE PROJETO

Este trabalho objetiva otimizar o projeto de França (2023), que projetou uma plataforma de elevação vertical com acionamento por fuso. Na ocasião, foi feita apenas a modelagem 3D e construção parcial da estrutura que contava com um motor elétrico e acionamento por fuso, conforme apresentado na Figura 15.

A otimização consiste na realização de uma análise estrutural, simulando a aplicação de forças nos pontos críticos que representam a condição mais desfavorável, considerando a carga máxima que a estrutura suportará. Em seguida, os perfis que a compõem são examinados individualmente, com o objetivo de aprimorar seu desempenho, avaliando a viabilidade de substituí-los por perfis de menor dimensão. Essa abordagem visa aumentar a eficiência e reduzir os custos do projeto.

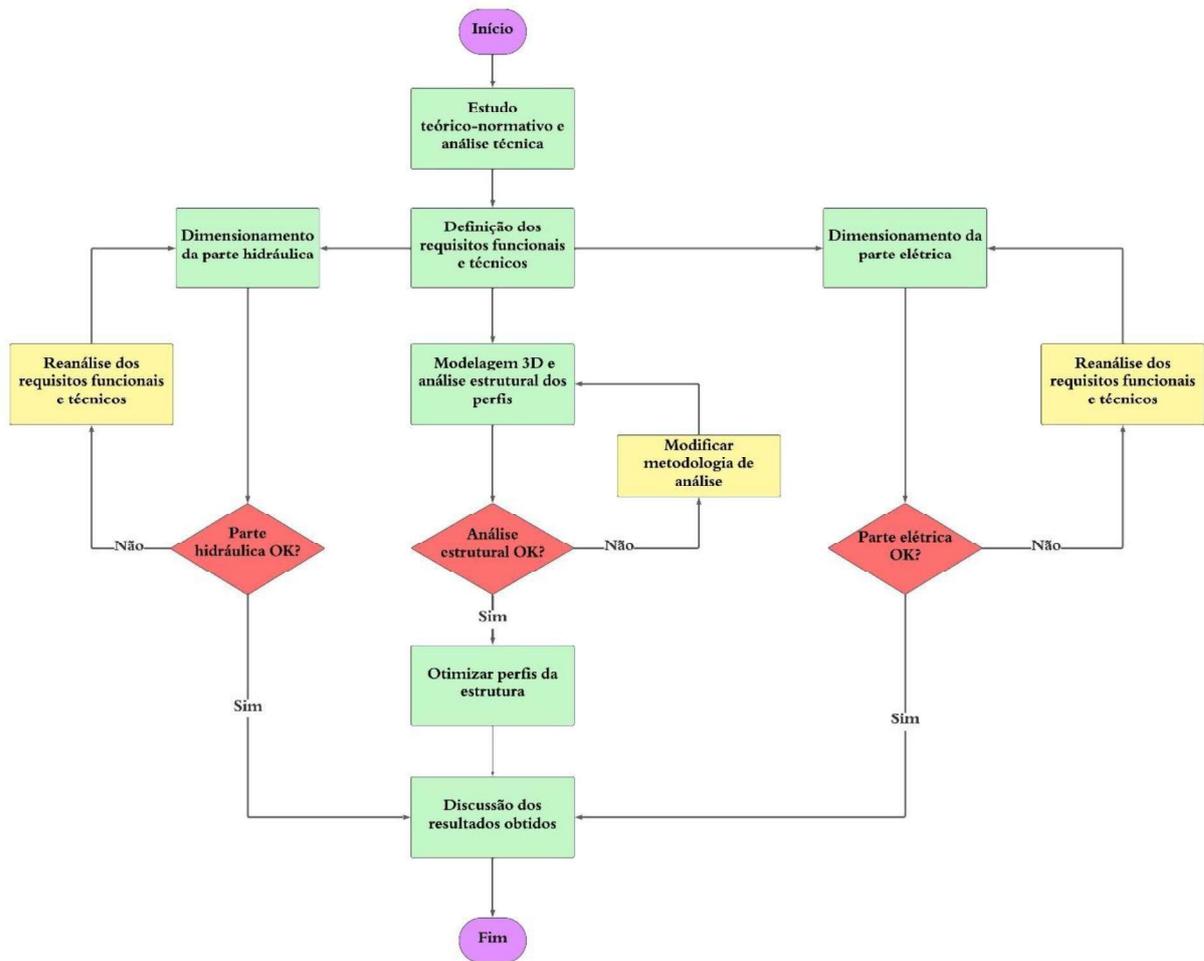
Como parte das melhorias, o sistema de acionamento foi substituído de fuso para hidráulico, pois apesar das vantagens do acionamento por fuso, como o baixo custo de manutenção, destacado por Oliveira, G. C. R. (2017), o autor também aponta que, embora esse mecanismo de acionamento possua um menor número de componentes na transmissão, seu funcionamento apresenta relativa complexidade. Além disso, é importante ressaltar que o sistema apresenta desvantagens como o alto consumo de energia elétrica, uma vez que o motor precisa ser acionado tanto na subida quanto na descida da plataforma. Outra limitação é sua eficiência mecânica reduzida, devido ao atrito inerente ao mecanismo, o que não apenas aumenta as perdas de energia, mas também acelera o desgaste dos componentes.

Dessa maneira, optou-se por um sistema hidráulico, mais adequado ao projeto em comparação aos mecanismos operados por fuso, por não apresentar suas desvantagens e também, em relação às plataformas operadas por cabos. Como a plataforma de elevação tem a finalidade de superar desníveis, e não de conectar múltiplos andares, um elevador de cabos, que frequentemente requer uma casa de máquinas, seria uma solução mais complexa e menos apropriada. Já os elevadores hidráulicos, conforme destacado por Guedes (2017), dispensam essa exigência, otimizando o espaço do poço do elevador. Além disso, a carga é distribuída pelas calhas de suporte da cabine, eliminando a necessidade de uma estrutura adicional no topo da edificação. Outro benefício relevante é o menor custo de instalação em comparação aos sistemas de tração convencionais.

4.3 ESTRATÉGIAS TÉCNICAS

A sequência de atividades para execução do projeto, está descrita no Fluxograma 2.

Fluxograma 2 – Fluxograma com sequência de atividades do projeto



Fonte: Autoria própria (2025).

4.4 SISTEMA HIDRÁULICO

O sistema hidráulico foi dimensionado seguindo as orientações de Fialho (2018) e da NBR ISO 9386-1 (ABNT, 2013a).

4.4.1 Procedimento para dimensionamento cilindro hidráulico

Para o dimensionamento do cilindro hidráulico, primeiramente foi determinada a pressão de trabalho (P_{tb}), determinada pela pressão nominal (P_N) menos a perda de carga que está entre 10 e 15%. A Equação (1) pode ser utilizada para obter a pressão de trabalho do cilindro, para uma perda de carga de 15% (Fialho, 2018).

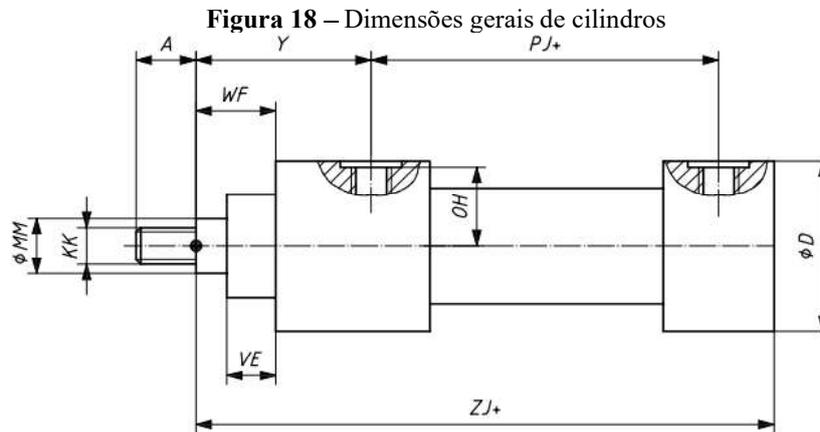
$$P_{tb} = P_N - 0,15 \cdot P_N \quad (1)$$

O diâmetro do pistão (D_p) foi obtido pela Equação (2), cuja unidade é o milímetro (mm), com a pressão expressa em bar e a força de avanço (F_a), em Newton (N) (Fialho, 2018).

$$D_p = \sqrt{\frac{4 \cdot F_a}{\pi \cdot P_{tb}}} \quad (2)$$

Após o cálculo do diâmetro, foi selecionado um cilindro com diâmetro do pistão comercial ($D_{p \text{ comercial}}$) superior ao diâmetro obtido pela Equação (2). A escolha foi feita pela norma ISO 6020-1 (ISO, 2017). Essa norma estabelece as medidas e os padrões para a montagem de cilindros hidráulicos de ação dupla e simples, que operam a uma pressão de até 160 bar.

A Figura 18 apresenta um modelo de cilindro hidráulico conforme a norma ISO 6020-1 (ISO, 2017), destacando as siglas correspondentes às suas dimensões. A Tabela 4 exibe um trecho da norma com os valores padronizados para as dimensões dos cilindros.



Fonte: ISO 6020-1 (ISO, 2017).

Tabela 4 – Dimensões gerais de cilindros

Pistão [mm]	Haste [mm]	ZJ	KK 6 g	A máx.	Y	PJ	D máx.	OH	VE máx.	WF
	14		M12 x 1,25	16						
25	18	150	M12 x 1,25	16	58	77	56	25,5	15	28
			M14 x 1,5	18						
32	18		M14 x 1,5	18						
	22	170	M14 x 1,5	18	64	89	67	30	19	32
			M16 x 1,5	22						
40	22		M16 x 1,5	22						
	28	190	M16 x 1,5	22	71	97	78	35	19	32
			M20 x 1,5	28						
										⋮

Fonte: Adaptado de ISO 6020-1 (ISO, 2017).

Posteriormente, a pressão de trabalho foi calculada novamente para o novo cilindro, por meio da Equação (3) (Fialho, 2018).

$$P_{tb} = \left(\frac{F_a}{\pi \cdot \frac{Dp^2}{4}} \right) \quad (3)$$

O dimensionamento da haste para deformação por flambagem pode ser obtido por meio da fórmula de “Euler”, conforme expresso na Equação (4) (Fialho, 2018).

$$K = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot J}{\lambda^2} \quad (4)$$

Em que:

K = deformação por flambagem [N];

E = módulo de elasticidade do aço [N/cm²];

J = momento de inércia [cm⁴];

λ = Comprimento livre de flambagem [cm].

O momento de inércia é obtido pela Equação (5) (Fialho, 2018).

$$J = \frac{D_h^4 \cdot \pi}{64} \quad (5)$$

Em que:

D_h é o diâmetro da haste [cm].

O comprimento livre de flambagem é determinado, conforme a configuração de fixação do cilindro. Como no projeto o cilindro do elevador terá as duas extremidades fixadas, de acordo com Fialho (2018), o λ é metade do curso do cilindro.

A F_a máxima permitida é a razão entre K e o coeficiente de segurança (S), conforme a Equação (6) (Fialho, 2018).

$$F_a = \frac{K}{S} \quad (6)$$

A velocidade de avanço e retorno do cilindro (v), é obtida pela equação da velocidade média, conforme expresso em Equação (7), sendo o comprimento da haste do cilindro (L_h) dividido pela variação de tempo de avanço ou retorno (Δt), cuja unidade é o metro por segundo (m/s) (Fialho, 2018).

$$v = \frac{Lh}{\Delta t} \quad (7)$$

A vazão do atuador (Q) é o produto entre a sua velocidade e área do pistão (A_p), como está apresentado na Equação (8), dada em metros cúbicos por segundo (m^3/s) (Fialho, 2018).

$$Q = v \cdot A_p \quad (8)$$

4.4.2 Procedimento para dimensionamento de tubulações hidráulicas

O número de Reynolds, parâmetro crucial para assegurar o comportamento laminar do fluido e evitar perdas de cargas, foi obtido por meio da Equação (9). Para que o escoamento do fluido nas tubulações seja laminar e, conseqüentemente, as perdas de carga sejam menores, o número de Reynolds (Re) deve ser menor ou igual a 2000 (Fialho, 2018).

$$Re = \frac{v \cdot Dt}{\nu} \quad (9)$$

Em que:

Dt = diâmetro da tubulação em [cm];

v = velocidade do fluido para a tubulação em questão [cm/s];

ν = viscosidade do fluido em Stokes [St].

O dimensionamento das tubulações foi realizado utilizando as velocidades recomendadas da Tabela 5, conforme Fialho (2018).

Tabela 5 – Velocidades recomendadas para dimensionamento de tubulações

Tubulação	Pressão (bar)				Velocidade (cm/s)
Tubulação de pressão	20	50	100	>200	
Tubulação de retorno	300				
Tubulação de sucção	100				

Fonte: Adaptado de Fialho (2018).

Como o valor de P_N do sistema não consta na Tabela 5, foi utilizada a Equação (10) para cálculo da velocidade do fluido na linha de pressão, conforme Fialho (2018).

$$Veloc = 126,65 \cdot P^{\left(\frac{1}{3,3}\right)} \quad (10)$$

Em que:

- P = pressão [bar].

Portanto, para estabelecer os diâmetros mínimos necessários às tubulações, a Equação (11) foi utilizada (Fialho, 2018).

$$dt = \sqrt{\frac{Q}{0,015 \cdot \pi \cdot v}} \quad (11)$$

Em que:

- Q = Vazão máxima [l/min];
- v = velocidade recomendada do fluido [cm/s];
- 0,0015 = fator de conversão.

Os diâmetros comerciais das tubulações foram selecionados pela norma ISO 11237 (ISO, 2017), que especifica os requisitos para mangueiras e conjuntos de mangueiras hidráulicas de borracha com reforço de fio de aço trançado, dos tipos compactos, utilizados com fluidos à base de óleo ou água.

A Tabela 6 apresenta os diâmetros comerciais de tubulações hidráulicas, da norma ISO 11237 (ISO, 2017).

Tabela 6 - Diâmetro comercial de tubulações hidráulicas

Tamanho nominal	Todos os tipos		Tipo 1SC			Tipo 2SC		
	Diâmetro interno [mm]		Diâmetro sobre fio [mm]		Diâmetro externo da mangueira [mm]	Diâmetro sobre fio [mm]		Diâmetro externo da mangueira [mm]
	mín.	máx.	mín.	máx.	máx.	mín.	máx.	máx.
5	4,6	5,4	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
6,3	6,1	6,9	9,6	10,8	13,5	10,6	11,7	14,2
8	7,7	8,5	10,9	12,1	14,5	12,1	13,3	16
10	9,3	10,1	12,7	14,5	16,9	14,4	15,6	18,3
12,5	12,3	13,5	15,9	18,1	20,4	17,5	19,1	21,5
16	15,5	16,7	19,8	21	23	20,5	22,3	24,7
19	18,6	19,8	23,2	24,4	26,7	24,6	26,4	28,6
25	25	26,4	30,7	31,9	34,9	32,5	34,3	36,6
31,5	31,4	33	37,8	39	42,2	39,3	41,7	44,3

Fonte: Adaptado de ISO 11237 (ISO, 2017).

4.4.3 Perdas de carga na linha de pressão

As perdas de carga na linha de pressão foram calculadas conforme a Equação (12) (Fialho, 2018).

$$\Delta P = \Psi \cdot \frac{5 \cdot L_t \cdot \mu \cdot v^2}{d_t \cdot 10^{10}} \quad (12)$$

Em que:

Ψ = Fator de atrito;

μ = Massa específica do fluido em [kg/m³];

v = Velocidade de escoamento do fluido recomendada [cm/s];

$L_t = L_1 + L_2$ = Comprimento total da tubulação [cm];

L_1 = Comprimento da tubulação retilínea [cm];

L_2 = Comprimento equivalente das singularidades [cm];

ΔP = Perda de carga na tubulação [bar].

$5 / (10^{10})$ = Fator de conversão.

O Ψ selecionado é igual a $90/Re$, indicado para tubos flexíveis e temperaturas variáveis, visto que dependendo do ambiente onde o elevador for instalado, pode haver oscilações de temperatura (Fialho, 2018).

As ΔP calculadas utilizando a Equação 12 foram somadas às ΔP das válvulas das linhas de pressão.

4.5 COMPONENTES DO CIRCUITO HIDRÁULICO

Neste subtópico, são descritos os componentes hidráulicos utilizados no projeto, em conformidade com a norma NBR ISO 9386-1 (ISO, 2013a). Destaca-se que os itens apresentados são de diferentes fabricantes e fornecedores, uma vez que não foi possível encontrar tudo em um único fornecedor.

4.5.1 *Válvula de isolamento*

A norma NBR ISO 9386-1 solicita que uma válvula de isolamento seja adicionada no trecho do circuito que une o pistão à válvula de retenção e à válvula de comando de descida e também, outra válvula instalada para um manômetro, posicionada entre a válvula de retenção e o pistão. (ABNT, 2013a). Portanto, duas válvulas desse tipo serão utilizadas no projeto.

De acordo com Nepin (2022), essa válvula é projetada para ser inserida em um ponto do sistema, permitindo o bloqueio do fluxo de fluido.

A válvula mostrada na Figura 19, da fabricante americana Dernord (s.d), é um modelo de válvula de isolamento que pode ser utilizado no circuito.

Figura 19 – Válvula esférica com função de isolamento



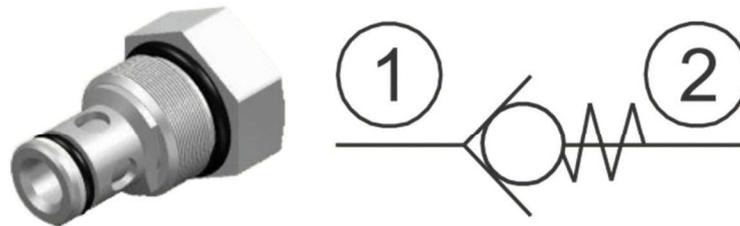
Fonte: Adaptado de Dernord (s.d).

4.5.2 Válvula de retenção

A função dessa válvula permite o fluxo de fluidos em uma única direção, impedindo seu retorno (SMC, 2023). Ela deve ser instalada entre a bomba e a válvula de isolamento e deve ser capaz de manter a plataforma sob carga nominal em qualquer ponto quando a pressão de alimentação cai abaixo da pressão de operação mínima (ABNT, 2013a).

Uma válvula de retenção modelo CVE 8, da fabricante Bucher (2016) encontra-se na Figura 20.

Figura 20 – Válvula de retenção



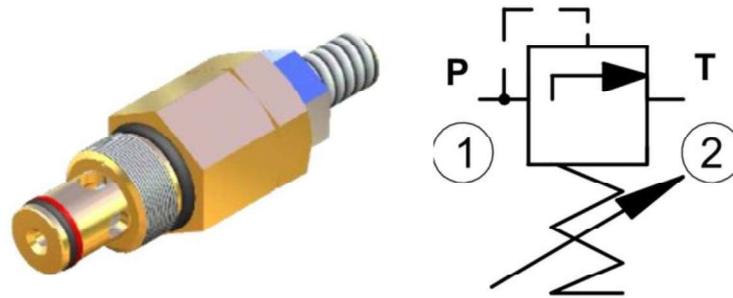
Fonte: Adaptado de Bucher (2016).

4.5.3 Válvula limitadora de pressão

Deve ser ajustada para limitar a pressão à 140% da pressão nominal. Sua conexão é entre a bomba e a válvula de retenção (ABNT, 2013a).

A Figura 21 exhibe um modelo de válvula limitadora de pressão RVD 8, da fabricante Bucher (2016).

Figura 21 – Válvula limitadora de pressão



Fonte: Adaptado de Bucher (2016).

4.5.4 Válvula de comando de descida

As válvulas de comando de descida necessitam ser mantidas abertas eletricamente, com o fechamento ocorrendo pela pressão hidráulica do pistão e por uma mola de compressão guiada por válvula (ABNT, 2013a).

A Figura 22 ilustra uma válvula com os requisitos solicitados pela norma, da fabricante SMC (s.d), modelo JSX.

Figura 22 – Válvula de comando de descida



Fonte: Adaptado de SMC (s.d).

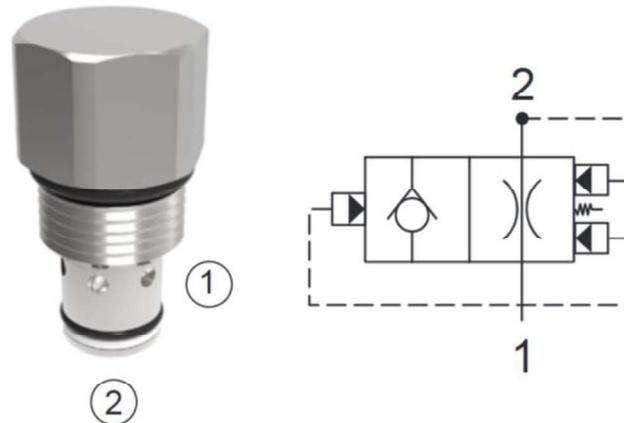
4.5.5 Válvula de queda, estrangulamento e deslize

De acordo com ABNT (2013a), em situações em que o percurso da plataforma excede 500 mm ou 3 degraus, o sistema hidráulico deve obrigatoriamente incorporar uma válvula de segurança instalada diretamente na saída do cilindro, ou um dispositivo similar de eficácia comprovada.

A válvula de queda considerada no projeto é um fusível de fluxo. Em conformidade com Marinho (2020), os fusíveis de fluxo são válvulas normalmente abertas que se fecham quando a diferença de pressão entre os pórticos de entrada e saída da válvula excede a configuração de projeto. A reversão da direção do fluxo possibilita o *reset* da válvula. Quando alinhados com um atuador, como um cilindro, os fusíveis de fluxo atuam na limitação da velocidade máxima do atuador.

Na Figura 23 encontra-se um fusível de fluxo da fabricante Fluid Power, modelo D-DECVF, que permite que o fluxo passe de (1) para (2), mas quando a velocidade excede o limite, a válvula se desloca e bloqueia essa passagem. Em contrapartida, a válvula opera como um orifício fixo quando o fluxo se move de (2) para (1) (Fluid Power, 2013).

Figura 23 – Fusível de fluxo



Fonte: Adaptado de Fluid Power (2013).

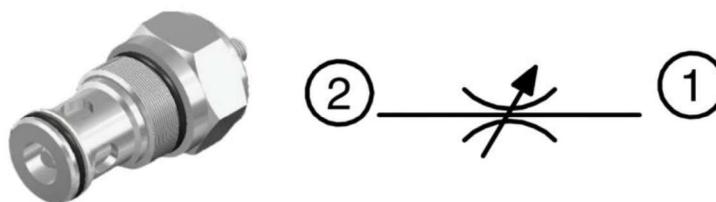
4.5.6 Válvula reguladora de fluxo

Para realizar o controle de fluxo do fluido, como também, para atender os requisitos da NBR ISO 9386-1 (2013a) de proteção, contra deslizos uma válvula reguladora de fluxo foi integrada ao circuito. Esse mecanismo mecânico é projetado para controlar a vazão de fluidos em sistemas de tubulação (Servo, s.d).

Ainda de acordo com Servo (s.d), a funcionalidade primordial dessa válvula reside na capacidade de ajustar o fluxo através de um orifício ajustável, que pode ser aberto ou fechado por meio de um mecanismo de controle específico, permitindo, dessa forma, a regulagem precisa da vazão.

A Figura 24 exibe uma válvula reguladora de fluxo, modelo FCE 16, da fabricante Bucher (2016).

Figura 24 – Válvula reguladora de fluxo



Fonte: Adaptado de Bucher (2016).

4.5.7 Filtros

A NBR ISO 9386-1 orienta que a instalação de filtros ou dispositivos similares deve ser realizada, tanto na tubulação que conecta o reservatório à bomba quanto naquela que se estende da válvula de isolamento até a válvula de comando de descida (ABNT, 2013a).

Na Figura 25 está apresentado um modelo de filtro para linha de sucção.

Figura 25 – Filtro para linha de sucção

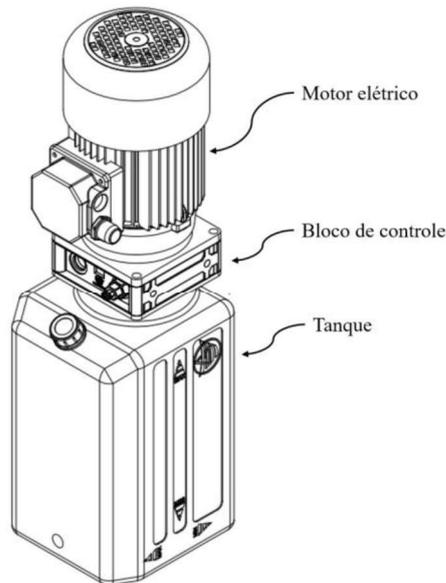


Fonte: Adaptado de Modrali (s.d).

4.5.8 Unidades hidráulicas

A integração de todos os componentes hidráulicos mencionados nos tópicos anteriores compõe uma central hidráulica, que, segundo Hidrominas (2024), é um sistema responsável por gerar, controlar e distribuir fluido sob pressão para diversas partes de um mecanismo. Essa unidade é constituída por diversos elementos, incluindo uma bomba, um motor, um reservatório de fluido e múltiplos dispositivos de regulação, como válvulas e controladores de pressão. Sua principal função é converter energia mecânica em energia hidráulica, possibilitando a execução de trabalho em diferentes aplicações.

A Figura 26 apresenta um modelo de mini-central hidráulica da fabricante italiana Gazzera SRL (2024), na qual é possível visualizar alguns dos seus principais componentes: motor elétrico, bloco de controle e tanque de fluidos. Como o catálogo da fabricante oferece diversos modelos de mini-centrais, com variações de bombas e blocos de controle, é possível selecionar um sistema que atenda aos requisitos da NBR ISO 9386-1 (ABNT, 2013a).

Figura 26 – Mini central hidráulica

Fonte: Adaptado de Gazzera SRL (2024).

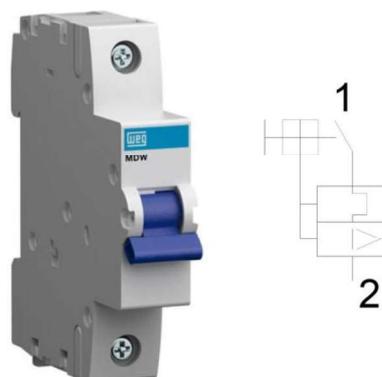
4.6 COMPONENTES DA PARTE ELÉTRICA DO CIRCUITO

Neste subtópico, são descritos os componentes elétricos utilizados no projeto, em conformidade com a norma NBR ISO 9386-1 (ABNT, 2013a).

4.6.1 Disjuntor

Para atender os requisitos da NBR ISO 9386-1, que especifica que dispositivos de segurança elétrica devem controlar diretamente o fornecimento de energia para o motor (ABNT, 2013a), um disjuntor adicionado ao circuito. De acordo com a NBR 5410 que estabelece as condições a que devem satisfazer as instalações elétricas de baixa tensão, os disjuntores oferecem proteção contra sobrecargas, sobrecorrentes e sobretensões (ABNT, 2004).

O Disjuntor da fabricante WEG (2024), mostrado na Figura 27 é um exemplo de modelo que pode ser utilizado.

Figura 27 – Disjuntor monofásico

Fonte: Adaptado de WEG (2024).

4.6.2 Inversor de frequência

Para garantir uma subida suave e controlada da plataforma, o projeto implementa um inversor de frequência com parametrização de rampa de aceleração e desaceleração. Este inversor controla o motor da bomba hidráulica, permitindo que a velocidade da plataforma aumente progressivamente até atingir o máximo desejado.

Foi utilizado o inversor de frequência CW 100, apresentado na Figura 28, um modelo simples, importado, com custo de aquisição menos elevado que outros modelos do mercado e que atende à necessidade do projeto.

Figura 28 – Inversor de Frequência CW 100



Fonte: Autoria própria (2024).

4.6.3 Manipulador joystick

Para controlar o elevador, utiliza-se uma chave de três posições, conhecida como *joystick*. Em sua posição central, o circuito permanece aberto, mantendo a plataforma de elevação parada. Ao movimentar a chave para um dos lados, ela sobe, enquanto ao movimentá-la para o lado oposto, a mesma desce.

Um modelo que pode ser utilizado encontra-se na Figura 29.

Figura 29 – Chave de três posições.



Fonte: Autoria própria (2025).

4.6.4 Relés

No circuito elétrico foram utilizados dois relés, cuja função é atuar como interruptores controlados eletricamente sendo estes, uma parte essencial da lógica do comando.

A Figura 30 apresenta um relé da fabricante Atork (s.d) de relé que pode ser utilizado no circuito, modelo RL1C7A.

Figura 30 – Relé de interface RL1C7A



Fonte: Adaptado de Atork (s.d).

4.6.5 Fim de curso

Para delimitar o trajeto da plataforma de elevação, parando-a quando esta chegar ao final dos seus cursos superior e inferior, foram utilizadas chaves de fim de curso. De acordo com Hydraco (2024) a função desses componentes é controlar o movimento dos cilindros e garantir a segurança das operações. O projeto utiliza sensores normalmente fechados (NF) que interrompem o circuito ao atingir os limites superior ou inferior, abrindo o circuito e desenergizando a plataforma.

A Figura 31 apresenta um modelo apropriado para o projeto, o LSW-PF10-P11, da fabricante WEG (2021).

Figura 31 – Fim de curso LSW-PF10-P11



Fonte: Adaptado de WEG (2021).

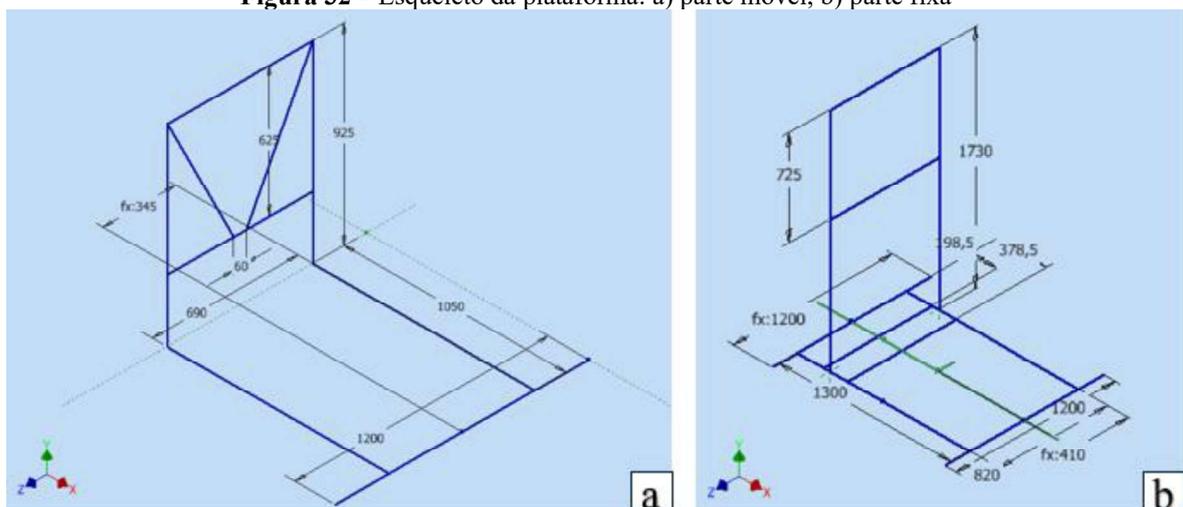
4.7 ANÁLISE ESTRUTURAL

Neste capítulo são descritos os procedimentos seguidos para realizar a análise estrutural da plataforma.

4.7.1 Modelagem 3D

Após a obtenção de todas as dimensões da plataforma, deu-se início à criação do modelo tridimensional, que foi subdividido em duas partes: fixa e móvel. A construção dessas partes foi realizada por meio do Gerador de Estruturas do Autodesk Inventor 2024. Inicialmente, elaborase o esqueleto da estrutura, um modelo geométrico baseado apenas em linhas e pontos, conforme ilustrado na Figura 32.

Figura 32 – Esqueleto da plataforma: a) parte móvel, b) parte fixa

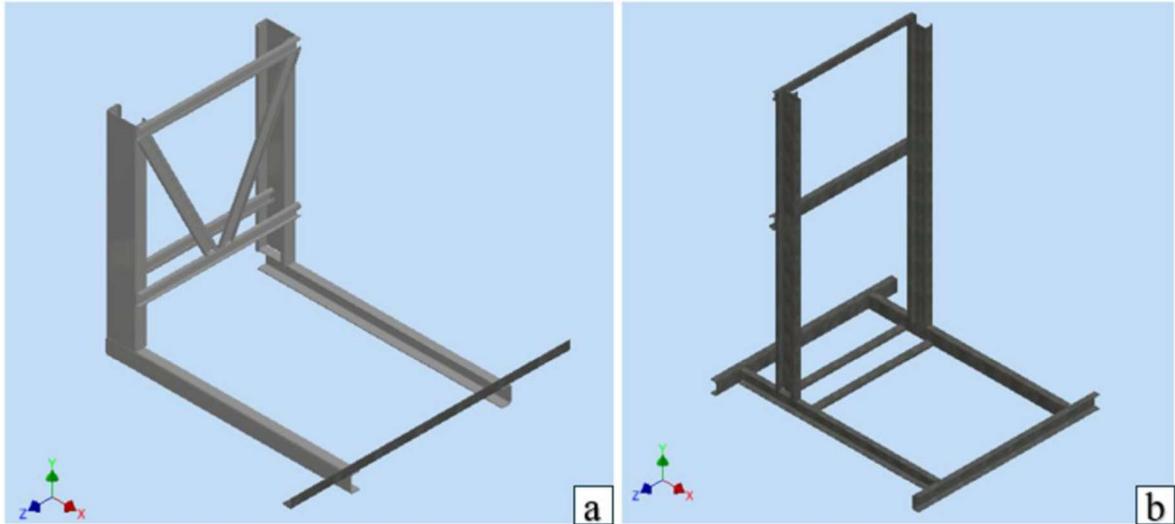


Fonte: Autoria própria (2025).

O processo de inserção dos componentes estruturais foi dividido em três etapas: escolha do perfil do elemento a partir do centro de conteúdo, definição da geometria de posicionamento para a inserção dos membros e, por fim, ajuste da orientação dos elementos. Na Figura 33, é

possível visualizar as estruturas após a inclusão de todos os membros em suas respectivas linhas.

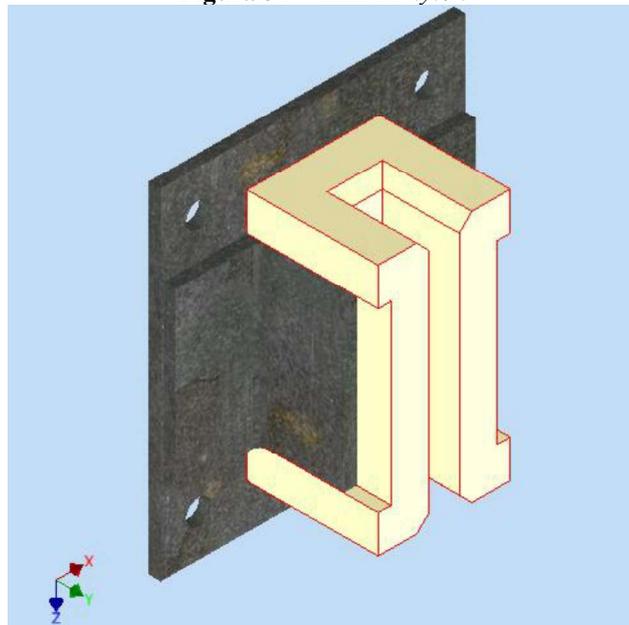
Figura 33 – Estrutura com os perfis: a) parte móvel, b) parte fixa



Fonte: Autoria própria (2025).

Após a modelagem das seções móvel e fixa da plataforma, procedeu-se à criação da corrediça da parte deslizante, confeccionado em *nylon* e chapa de aço. Esse componente é acoplado à estrutura móvel e deslizará ao longo do perfil em T da estrutura fixa. Na Figura 34 é possível visualizar o guia.

Figura 34 – Guia de *nylon*



Fonte: Autoria própria (2025).

4.7.2 Perfis utilizados para confeccionar a estrutura

Os perfis utilizados na estrutura são de aço ASTM A-36, amplamente empregado em construções civis e industriais devido à sua qualidade e versatilidade. Esse material está disponível em perfis, chapas e barras, oferecendo resistência a diversas tensões e compatibilidade com processos de soldagem, rebites e parafusos. Sua composição química proporciona alta resistência à tração, durabilidade e segurança, tornando-o uma escolha confiável para projetos estruturais (ASTM, 2001). As propriedades físicas do aço A-36 encontram-se na Tabela 7.

Tabela 7 - Requisitos de resistência à tração

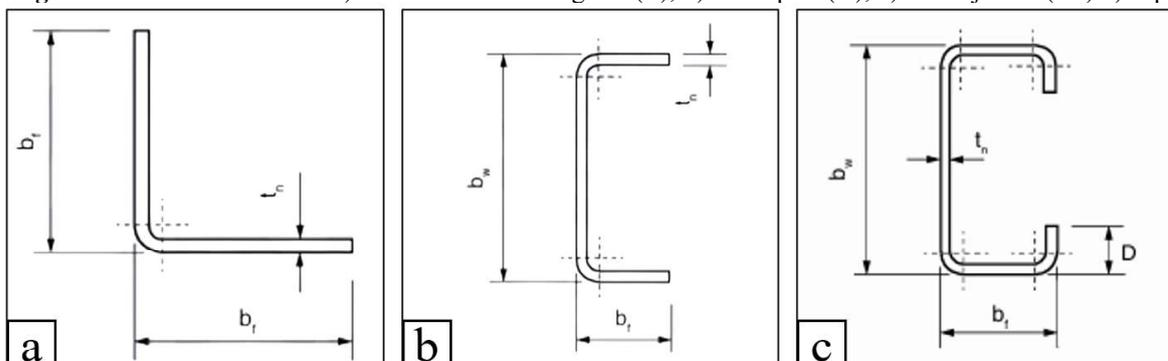
Chapas, Perfis e Barras:		
Resistência à tração	58-80 ksi	400-500 MPa
Limite de escoamento, mín	36 ksi	250 MPa
Chapas e Barras:		
Alongamento em 8 pol. [200 mm], mín.		20%
Alongamento em 2 pol. [50 mm], mín.		23%
Perfis:		
Alongamento em 8 pol. [200 mm], mín.		20%
Alongamento em 2 pol. [50 mm], mín.		21%

Fonte: ASTM (2001).

Conforme especificado pela norma NBR 6355, os perfis estruturais de aço formados a frio são produzidos por meio de processos de dobramento em prensas dobradeiras ou conformação contínua em matrizes rotativas, utilizando bobinas laminadas a frio ou a quente, com ou sem revestimento, realizados em temperatura ambiente (ABNT, 2012).

A Figura 35 ilustra os perfis utilizados na plataforma de elevação, em conformidade com a NBR 6355: cantoneira de abas iguais (L) (a), U simples (b) e U enrijecido (c).

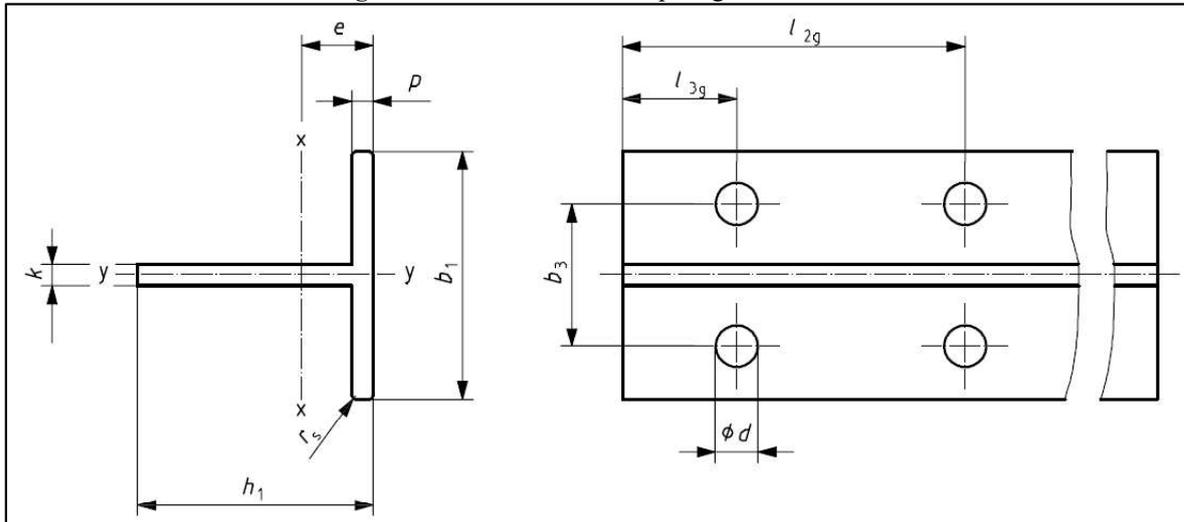
Figura 35 - Perfis utilizados: a) cantoneira de abas iguais (L); b) U simples (U); c) U enrijecido (Ue) d) Tipo T



Fonte: Adaptado de NBR 6355 (ABNT, 2012).

Os guias utilizados na plataforma, nos quais a corredeira de *nylon* irá correr, são perfis do tipo T, padronizados pela norma ISO 7465, que estabelece padrões e requisitos para as características dimensionais, tolerâncias geométricas e acabamento superficial desses guias, garantindo sua qualidade e funcionalidade (ISO, 2007). A Figura 36 ilustra esse perfil.

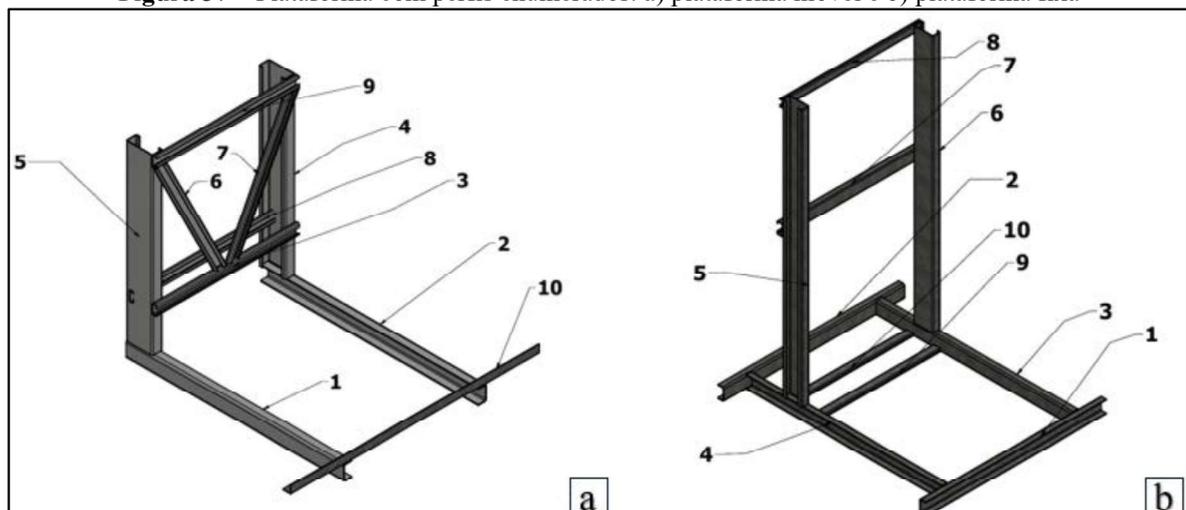
Figura 36 – Perfil T utilizado para guia da estrutura



Fonte: ISO 7465 (ISO, 2007).

A Figura 37 apresenta as duas partes da plataforma, com os perfis numerados para facilitar a identificação de cada tipo. Na Tabela 8 são identificados os perfis, juntamente com a densidade linear (ρ) e o comprimento de cada um.

Figura 37 – Plataforma com perfis enumerados: a) plataforma móvel e b) plataforma fixa



Fonte: Autoria própria (2025).

Tabela 8 – Tipos de perfil utilizados na plataforma elevatória

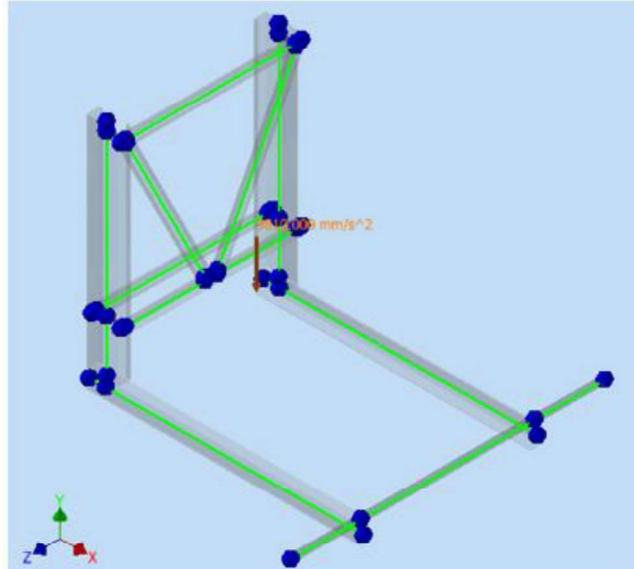
Plataforma	Características			
	Viga	Perfil	ρ [kg/m]	Comprimento Lx [cm]
Móvel	1 e 2	U 75x40x4,75	5,19	105
	4 e 5	Ue 125x50x17x3,00	5,63	85
	3, 8 e 9	Ue 50x25x10x3,00	2,36	69
	6 e 7	Ue 50x25x10x3,00	2,36	66,91
	10	L 40 x 3,00	1,77	120
Fixa	1 e 2	U 75x40x4,75	5,19	120
	3 e 4	U 75x40x4,75	5,19	130
	5 e 6	Ue 125x50x17x3,00	5,63	173
	7	Ue 75x45x15x3,00	3,89	92
	8	Ue 50x25x10x3,00	2,36	92
	9 e 10	Ue 50x25x10x3,00	2,36	82

Fonte: Autoria própria (2025).

4.7.3 Ambiente de análise

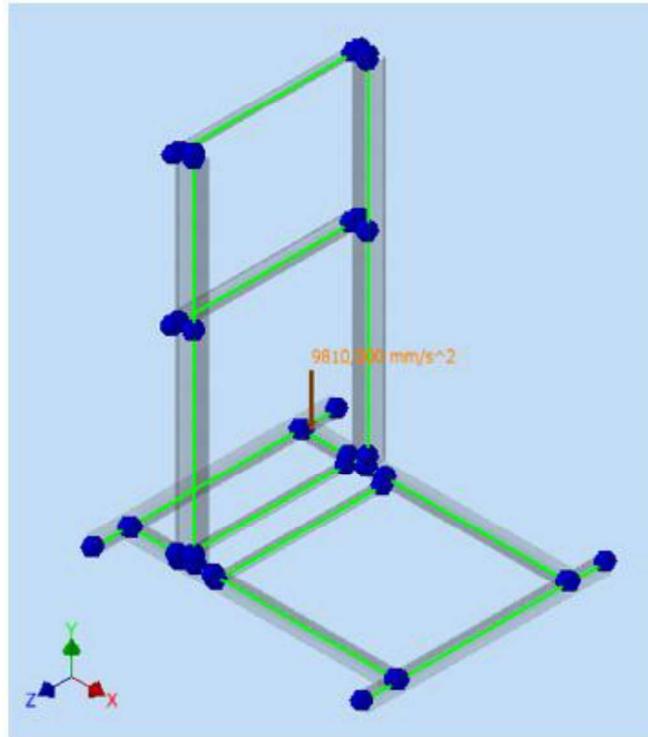
Nas Figuras 38 e 39, são apresentadas as estruturas no ambiente de análise estrutural. Nesse contexto, o *software* modela as vigas como elementos lineares e as conexões como vínculos rígidos entre os nós.

Figura 38 – Parte móvel no ambiente de Análise Estrutural



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 39 – Parte fixa no ambiente de Análise Estrutural



Fonte: Autoria própria (2025).

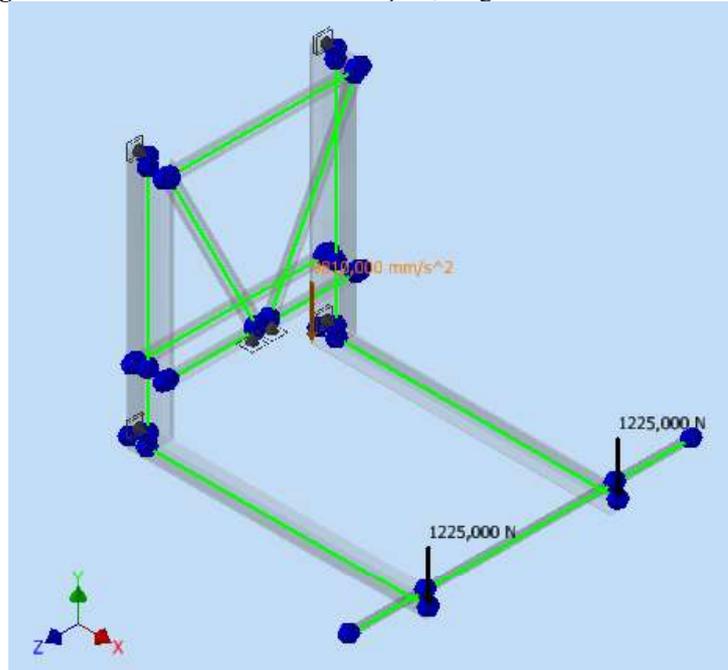
Posteriormente, foram definidos os locais de suporte (restrições), os tipos de carga, seus pontos de aplicação e magnitude, bem como as conexões entre as vigas, incluindo a adição de nós ou articulações, quando aplicável. Todas as restrições, cargas e conexões foram criteriosamente estabelecidas para assegurar a conformidade da estrutura com as condições reais de operação.

Conforme especificado na norma NBR ISO 9386-1 (ISO, 2013a), a plataforma elevatória deve suportar uma carga mínima de 250 kg. Logo, considerando a aceleração gravitacional de $9,80 \text{ m/s}^2$, a carga aplicada à estrutura corresponde a 2450 N. Para garantir a avaliação da condição mais crítica, essa carga foi uniformemente distribuída entre as extremidades da parte móvel.

Os apoios das vigas verticais foram modelados como flutuantes, representando os guias, e estão submetidos a restrições nos eixos X e Z, permitindo deslocamento exclusivamente ao longo do eixo Y. Por sua vez, os apoios que representam a região de contato entre a estrutura e o cilindro foram especificados como fixos, conferindo liberdade apenas para a rotação.

A Figura 40 apresenta a estrutura da parte móvel com os apoios e as cargas aplicadas.

Figura 40 – Parte móvel com as restrições, cargas e conexões necessárias.

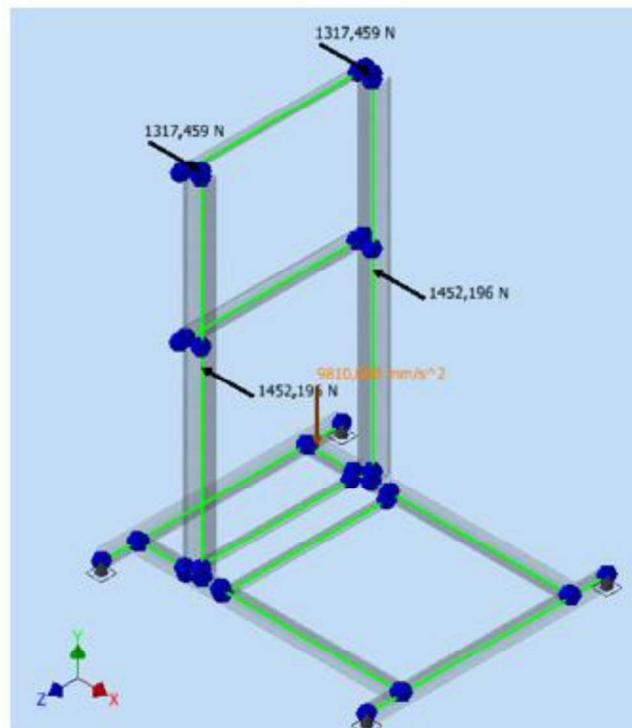


Fonte: Autoria própria (2025).

Na estrutura fixa, foram aplicadas restrições do tipo fixo, assegurando sua estabilidade em relação ao solo. As forças atuantes nos perfis verticais correspondem às reações dos apoios flutuantes que são transmitidas pelos guias. Para a análise, considerou-se a condição mais crítica, na qual a parte móvel encontra-se na extremidade superior da parte fixa.

A Figura 41 apresenta a estrutura da parte fixa com os apoios e as cargas aplicadas.

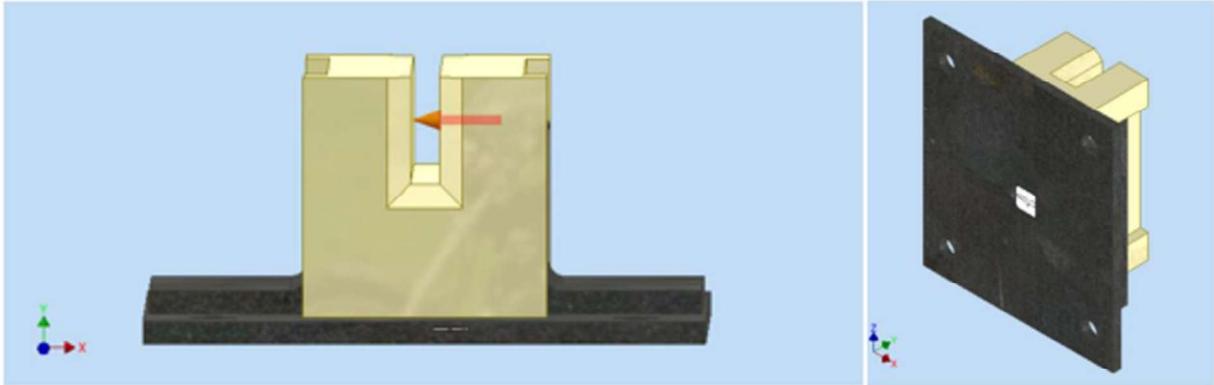
Figura 41 – Parte fixa com as restrições, cargas e conexões necessárias



Fonte: Autoria própria (2025).

Além disso, é necessário verificar se o guia suporta a carga que está sendo transferida por ele, da parte móvel para a parte fixa. Nesse caso deve-se utilizar a Análise de Tensão, pois o guia foi modelado utilizando o Gerador de Estruturas e conseqüentemente não foi possível utilizar a análise estrutural. A Figura 42 apresenta a restrição e a força sendo aplicadas no guia.

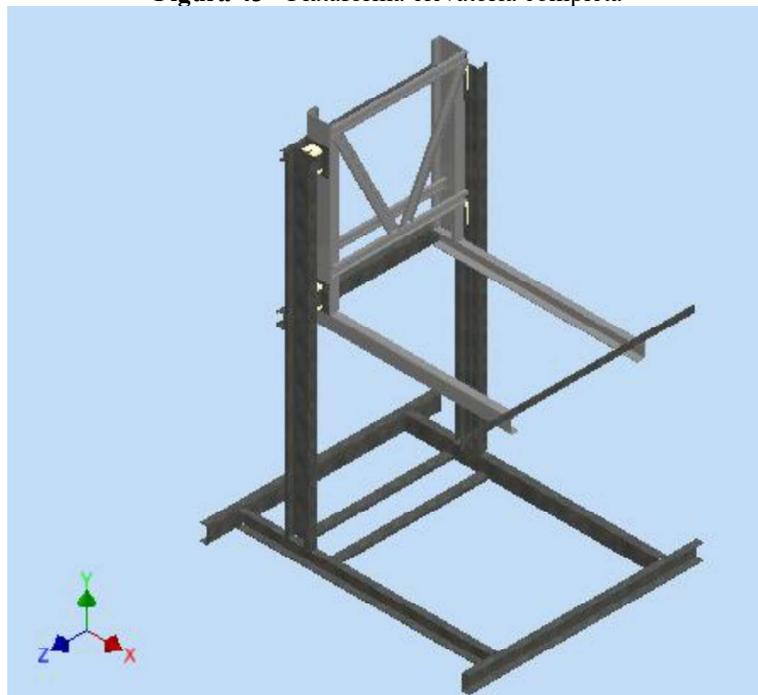
Figura 42 - Guia de nylon no ambiente análise de tensão



Fonte: Autoria própria (2025).

A Figura 43 apresenta a plataforma elevatória completa, na posição onde a parte móvel se encontra na extremidade da parte fixa, na qual é considerada a mais crítica para a plataforma.

Figura 43 - Plataforma elevatória completa



Fonte: Autoria própria (2025).

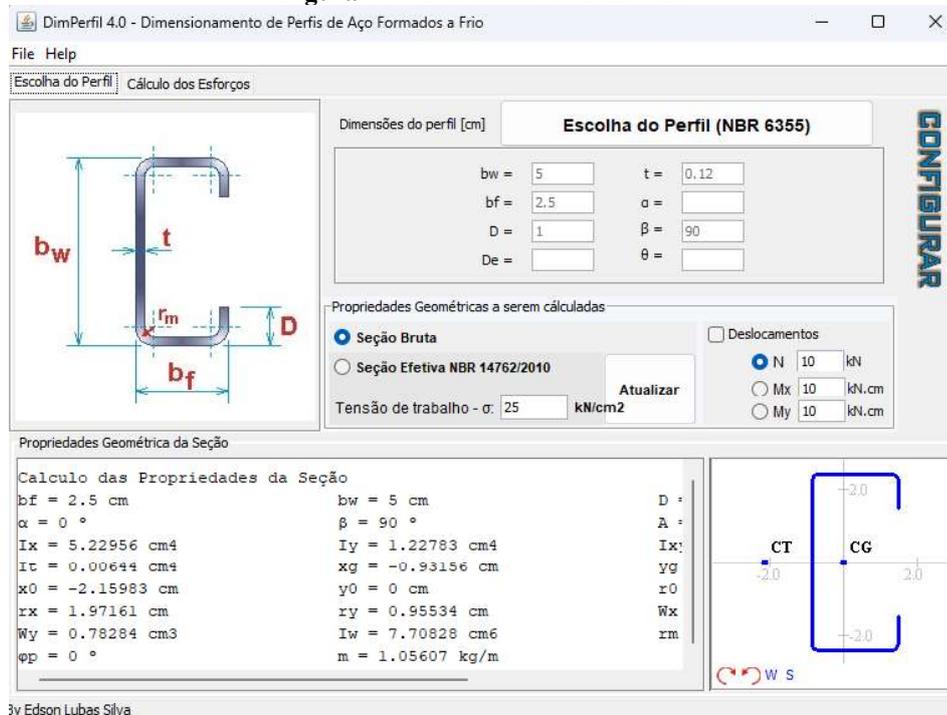
4.7.4 Análise e otimização dos perfis

Para realizar as verificações dos perfis utilizados na estrutura da plataforma, foi utilizado o *software* DimPerfil. De acordo com Jacob (2020), o DimPerfil é uma ferramenta projetada

para realizar verificações de Estados Limites Últimos (ELU) em perfis formados a frio, abrangendo estabilidade local, estabilidade global e resistência. Conforme Sanchez (2022), ELU é o ponto em que a estrutura deixa de cumprir sua função de forma segura, podendo levar a acidentes e perdas materiais.

É importante destacar que o DimPerfil utiliza a NBR 14762 como base para suas verificações, aplicando especificamente o Método das Larguras Efetivas, um dos quatro métodos previstos pela norma para as verificações de perfis formados a frio (ABNT, 2010). Na Figura 44, está apresentada a tela inicial do *software*, na qual instrui o usuário a selecionar o perfil que é utilizado.

Figura 44 – Tela inicial do DimPerfil



Fonte: Autoria própria (2025).

Após a escolha do perfil, o usuário deve inserir as informações necessárias para que o *software* realize as verificações. As principais informações são o comprimento e os esforços solicitantes do perfil.

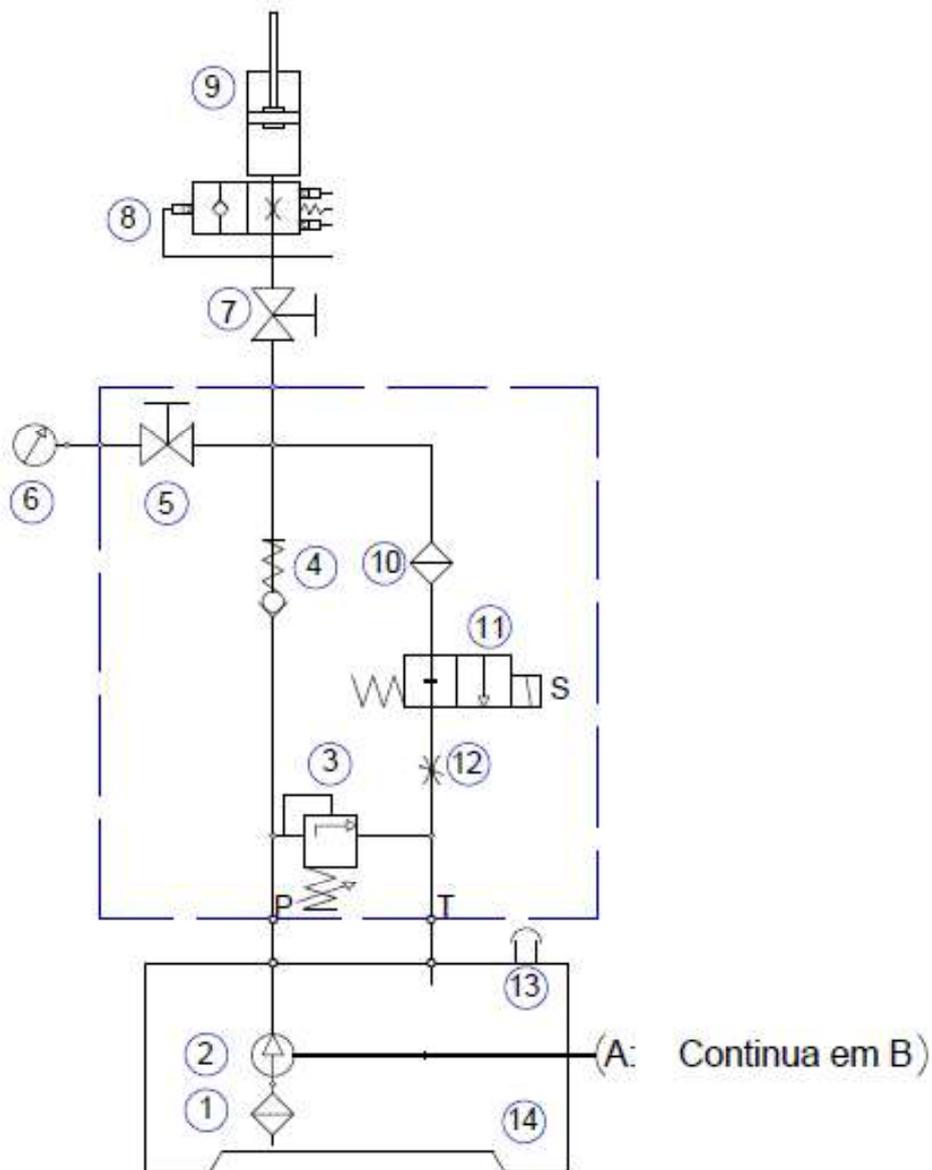
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, são apresentados os resultados obtidos na realização do projeto, abrangendo o dimensionamento do sistema hidráulico e do sistema elétrico, além da análise estrutural e da otimização dos perfis.

5.1 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA HIDRÁULICO

O circuito hidráulico encontra-se na Figura 45. Este foi modelado no *software* AutoCad 2025. A Tabela 9 descreve seus componentes.

Figura 45 – Diagrama hidráulico de acionamento da plataforma



Fonte: Autoria própria (2025).

Tabela 9 – Componentes do circuito hidráulico

Identificação	Dispositivo
1	Filtro na linha de sucção
2	Bomba hidráulica
3	Válvula limitadora de pressão
4	Válvula de retenção
5	Válvula de isoladora de manômetro
6	Manômetro
7	Válvula isoladora
8	Válvula antiqueda
9	Cilindro hidráulico de simples ação
10	Filtro na linha de retorno
11	Válvula de comando de descida
12	Válvula reguladora de fluxo
13	Tampa do tanque
14	Tanque de fluido

Fonte: Autoria própria (2025).

5.1.1 Cilindro hidráulico

Para o sistema em questão, utilizou-se uma pressão nominal de 70 bar, classificada por Fialho (2018) como média/alta pressão. A pressão de 70 bar foi considerada a mais adequada para a seleção do diâmetro comercial do cilindro, tendo em vista que um valor superior implicaria em um cilindro de maior diâmetro, como pode ser demonstrado pela Equação (2). Consequentemente, em um custo de aquisição mais elevado.

A Norma NBR ISO 9386-1 (ABNT, 2013a) estabelece que a carga mínima que o elevador deve suportar não deve ser inferior à 250 kg. Dessa forma, incluindo o peso da estrutura móvel do elevador, determinado pelo *software*, o cilindro foi dimensionado para uma carga de 281 kgf. Portando, substituindo os valores na Equação (2), considerando a aceleração da gravidade sendo $9,80 \text{ m/s}^2$, foi obtido um D_p de 24,27 mm.

O diâmetro comercial foi selecionado pela Tabela 4 e, segundo as orientações de Fialho (2018) de que o diâmetro comercial do pistão deve ser maior ou igual ao diâmetro do pistão, optou-se por um cilindro com D_p de 25 mm cujo D_h selecionado é 18 mm. Recalculando a P_{tb} Equação (3), obteve-se 56,10 bar.

Após o cálculo de deformação por flambagem, utilizando a Equação (4), foi obtido $K = 42,72 \text{ kN}$, sendo esta, a força necessária para ocasionar flambagem na haste do cilindro. Por sua vez, a força máxima permissível, calculada pela Equação (6) é $F_a = 12206 \text{ N}$. Considerando a aceleração da gravidade $9,80 \text{ m/s}^2$, a carga máxima que o cilindro pode elevar é 1245,51 kg, considerando um fator de segurança (S) de 3,5.

Para parâmetro de cálculo, foi estabelecida uma velocidade de subida e descida do cilindro, de 0,12 m/s, que está abaixo do limite máximo permissível pela NBR ISO 9386-1 (ABNT, 2013a). Dessa forma, utilizando a Equação (7) e considerando o curso de 1000 mm, obteve-se um tempo de subida do cilindro de 8,33 s. Contudo, considerando a existência de uma rampa de aceleração, na qual a plataforma leva um tempo para atingir sua velocidade máxima de subida, e uma desaceleração próxima ao limite superior, os tempos de subida e descida serão maiores.

Utilizando a Equação 8 para calcular a vazão do pistão, foi encontrada uma Q de 3,53 l/min.

A Tabela 10 apresenta os parâmetros do cilindro dimensionado.

Tabela 10 – Parâmetros do cilindro para o projeto

P_n [bar]	70
P_{tb} [bar]	56,10
K [N]	42720
F_a [N]	2753,8
F_{amax} [N]	12206
D_p [mm]	25
D_h [mm]	18
v [m/s]	0,12
Δt [s]	8,33
Q [l/min]	3,53

Fonte: Autoria própria (2025).

5.1.2 Dimensionamento dos diâmetros das tubulações

Os diâmetros das tubulações foram dimensionados com base na Equação (11), enquanto o número de Reynolds (Re) foi calculado utilizando a Equação (9), considerando um índice de viscosidade do fluido de 0,3 St.

Para a tubulação de sucção, adotou-se a velocidade recomendada de 100 cm/s, conforme a Tabela 5, resultando em um diâmetro calculado de 8,98 mm. De acordo com Fialho (2018), o diâmetro comercial selecionado deve ser igual ou superior ao valor calculado, sendo escolhido o de 9,8 mm (3/8"). O número de Reynolds obtido para essa tubulação foi de 316,67, caracterizando um escoamento laminar, adequado para a aplicação.

Na linha de pressão, a velocidade recomendada foi determinada pela Equação (10), resultando em 501,35 cm/s. O diâmetro calculado foi de 4,01 mm, e o diâmetro comercial selecionado foi de 6,4 mm (1/4"). O número de Reynolds correspondente, 720,20, também indica escoamento laminar.

Para a linha de retorno, seguiu-se a recomendação da Tabela 5, com uma velocidade de 300 cm/s. O diâmetro calculado foi de 5,18 mm, e o diâmetro comercial adotado foi de 6,4 mm (1/4"). O número de Reynolds obtido, 640, confirma a condição de escoamento laminar.

A Tabela 11 apresenta um resumo das tubulações dimensionadas.

Tabela 11 – Diâmetro das tubulações			
	Tubulações		
	Sucção	Pressão	Retorno
D_t	9,8	6,4	6,4
Re	316,67	720,20	640

Fonte: Autoria própria (2025).

5.1.3 Perdas de carga na linha de pressão

De acordo com Fialho (2018), a pressão fornecida pela bomba hidráulica selecionada deve ser igual ou superior à potência do sistema, acrescida das perdas de carga na linha de pressão. Portanto, o cálculo das perdas de carga foi realizado através da Equação (12).

Foi considerado um comprimento da tubulação retilínea de 2 m. Já as perdas de cargas por singularidade não estão presentes no circuito.

As perdas de carga nas válvulas da linha de pressão foram obtidas a partir de catálogos de fabricantes, que apresentam curvas relacionando a variação de pressão no dispositivo em função da vazão. Especificamente, as perdas nas válvulas de retenção e isolamento foram extraídas do catálogo da fabricante Bucher (2016), enquanto a perda de carga do fusível de fluxo foi obtida de Fluid Power (2013), para um fluido com viscosidade de 0,3 st.

As perdas de carga das válvulas da linha de pressão estão apresentadas na Tabela 12.

Tabela 12 – Perdas de carga nas válvulas da linha de pressão			
Singularidade	Quantidade	Comprimento por unidade (bar)	Comprimento equivalente total (bar)
Válvula de retenção	1	1	1
Válvula de isolamento	1	2,5	2,5
Válvula de queda	1	2,5	2,5
Total		6	6

Fonte: Autoria própria (2025).

Os cálculos resultaram em uma perda de carga total de 6,04 bar. Somando esse valor à P_{tb} de 56,10 bar, obtém-se 62,14 bar, valor inferior à pressão nominal de 70 bar.

Portanto, a potência da bomba para o sistema deve ser superior a 62,14 bar. A potência nominal comercial foi selecionada a partir do catálogo da fabricante Gazzera SRL (2024),

buscando a melhor relação entre potência, vazão e rotação. Entre os modelos analisados, a bomba mais adequada possui uma pressão de 210 bar, vazão de 3,8 l/min, para rotações de 1500 rpm.

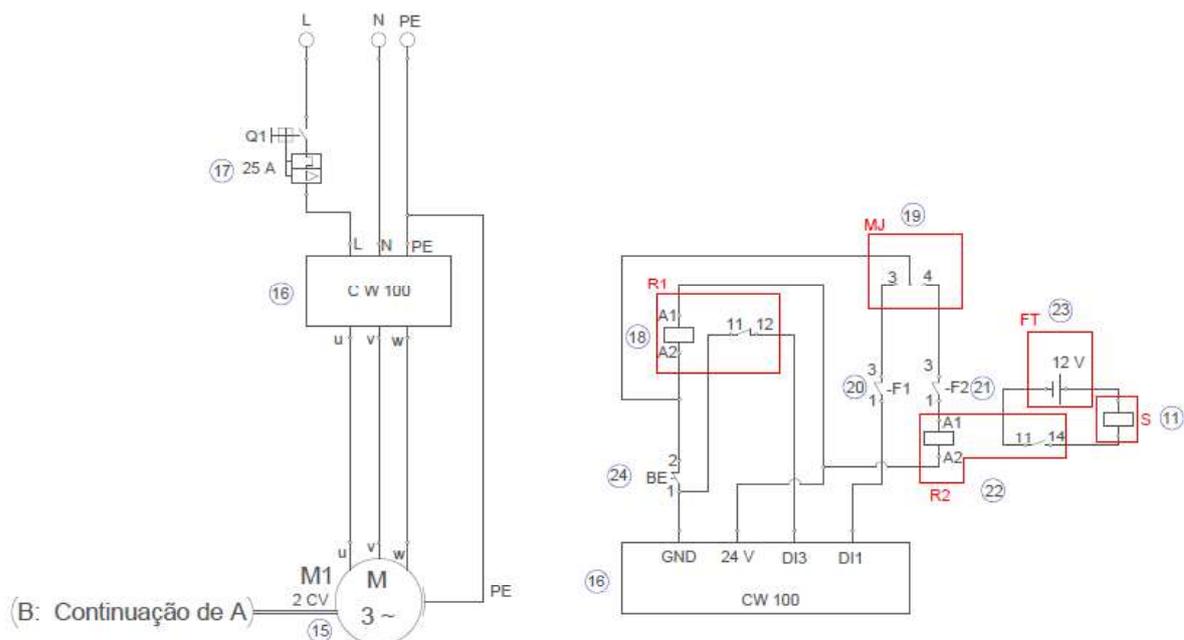
5.2 DIMENSIONAMENTO DA PARTE ELÉTRICA

O circuito elétrico de acionamento da plataforma, incluindo as partes de potência e comando, está representado na Figura 46 e foi modelado no software AutoCad 2025. Este complementa o circuito hidráulico mostrado na Figura 45.

A Tabela 13, apresenta a descrição dos componentes do circuito da Figura 46.

A parametrização do inversor de frequência, para acionamento, aceleração e desaceleração da plataforma, no sentido de subida, encontra-se no APÊNDICE A.

Figura 46 – Diagrama elétrico de acionamento da plataforma



Fonte: Autoria própria (2025).

Tabela 13 – Descrição dos componentes do circuito elétrico

Identificação	Dispositivo
11	Válvula de comando de descida
15	Motor elétrico, trifásico de 2 cv, pot. de 1471 W, rot. de 1500 rpm e rend. de 86,5%
16	Inversor de frequência CFW 100
17	Disjuntor monofásico 25 A
18	Relé eletromecânico 1
19	Manipulador <i>joystick</i>
20	Fim de curso superior
21	Fim de curso inferior
22	Relé eletromecânico 2
23	Alimentação de 12 V
24	Botão de emergência

Fonte: Autoria própria (2025).

As bobinas dos relés são ativadas quando conectadas ao *ground* (GND) e à tensão de 24 V. Da mesma forma, as entradas digitais do inversor (DI1 e DI3) são acionadas pelo GND, que é adotado como referência principal do sistema de controle.

O acionamento da plataforma elevatória é realizado pelo manipulador *joystick*. Ao movê-lo para a posição 3, o DI1 é energizado, ativando o motor. Quando a plataforma atinge o fim de curso 1 (F1), DI1 é desenergizado, interrompendo o movimento no ponto superior.

Ao posicionar o *joystick* em 4, a bobina do relé 2 (R2) é energizada, fechando seu contato normalmente aberto (NA), enquanto a bobina do solenoide (S) é ativada para retrain o cilindro. Quando a plataforma atinge o fim de curso 2 (F2), a bobina de R2 é desenergizada, interrompendo o movimento no ponto inferior do desnível.

Como o GND é responsável pela ativação das entradas digitais do inversor, um botão de emergência (BE) foi inserido na saída do GND. Dessa forma, ao acioná-lo, todo o circuito é desenergizado, exceto a alimentação de DI3.

O relé 1 (R1) executa a função de parada de emergência do inversor, configurada na entrada DI3. Quando o BE é acionado, a bobina de R1 é desenergizada, mantendo seu contato normalmente fechado (NF) fechado e ativando DI3. Isso aciona a função de parada de emergência no inversor, interrompendo a alimentação do motor.

5.2.1 Dispositivos do circuito

A corrente de entrada do inversor selecionada é de 23 A. De acordo com a NBR 5410 (ABNT, 2004), o disjuntor deve ter uma corrente nominal superior à corrente de projeto (I_b) do circuito e inferior à capacidade de condução dos condutores. Portanto, considerando um cabo

de 4 mm² com isolamento adequado, instalado em eletroduto aparente na seção circular sobre a parede (B1), cuja capacidade de condução de corrente é de 32 A, e levando em conta que I_b corresponde à corrente máxima de operação do inversor, foi selecionado um disjuntor de 25 A de curva C, que se caracteriza por disparar instantaneamente quando a corrente atinge de 5 a 10 vezes o valor da corrente nominal, conforme WEG (2024).

Entre o inversor e o motor, foram utilizados condutores de 2,5 mm², uma vez que a corrente de saída do inversor é de 9,6 A e, segundo a NBR 5410 (ABNT, 2004), para circuitos de força o condutor mínimo deve ser de 2,5 mm².

O motor elétrico selecionado é trifásico, operando em 380 V, com potência de 1471 W, rendimento de 86,5 % e rotação máxima de 1500 rpm, portanto, compatível com a bomba hidráulica comercial escolhida. Esse motor também foi encontrado no catálogo da Gazzera SRL (2024).

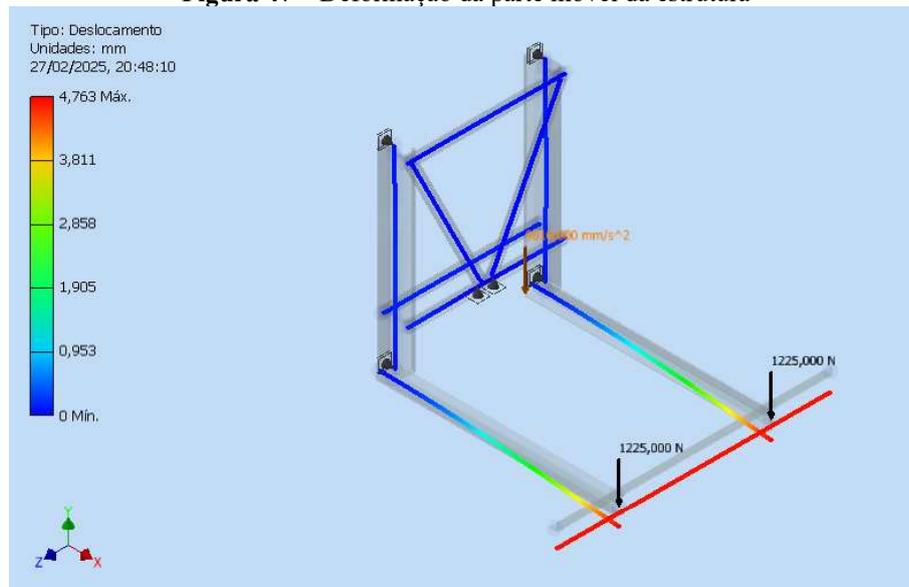
Na parte de controle do circuito, foram utilizados condutores de 0,5 mm², os quais, na categoria de utilização B1 (ABNT, 2004), suportam uma corrente máxima de 9 A para até dois condutores carregados. Esse valor está significativamente acima da corrente de saída dos relés, de 0,2 A, assegurando uma margem de segurança adequada.

5.3 ANÁLISE ESTRUTURAL

No *software* Autodesk Inventor 2024, foram desenvolvidos a modelagem tridimensional, a simulação dos esforços aplicados à estrutura e a análise de tensão e deformação. Posteriormente, na ferramenta computacional DimPerfil, procederam-se às verificações dos ELU e a otimização dos perfis, utilizando os dados obtidos na simulação realizada no Inventor.

Após a definição de todas as restrições e a aplicação das cargas necessárias para a simulação, obtém-se inicialmente um dos resultados mais relevantes analisados no Inventor: a deformação máxima ($\epsilon_{máx}$) da estrutura. A Figura 47 ilustra a deformação na parte móvel da estrutura.

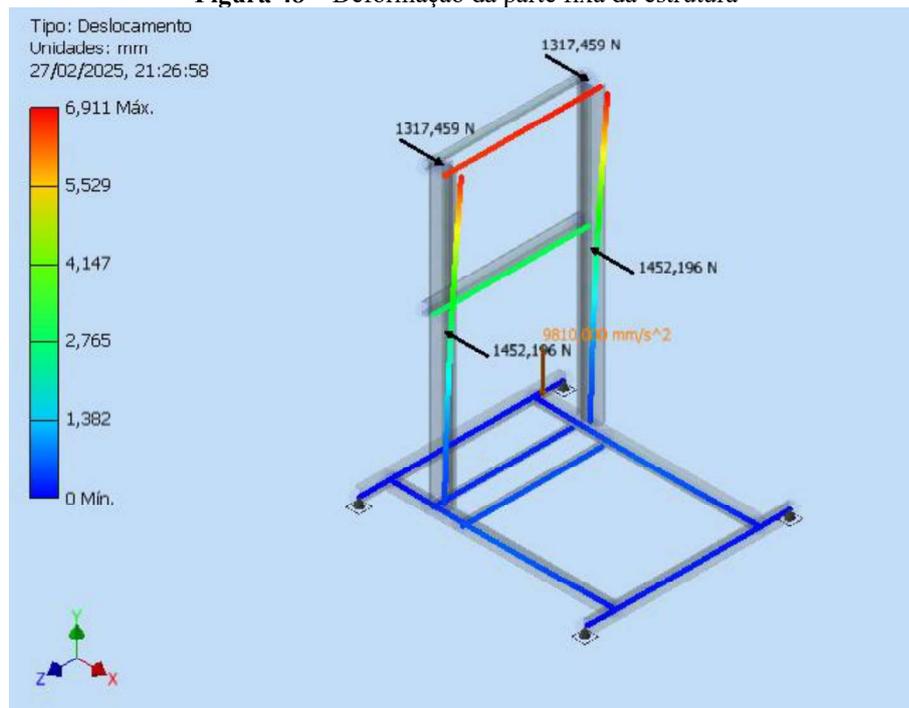
Figura 47 – Deformação da parte móvel da estrutura



Fonte: Autoria própria (2025).

Na Figura 48, observa-se a deformação na parte fixa da estrutura.

Figura 48 – Deformação da parte fixa da estrutura

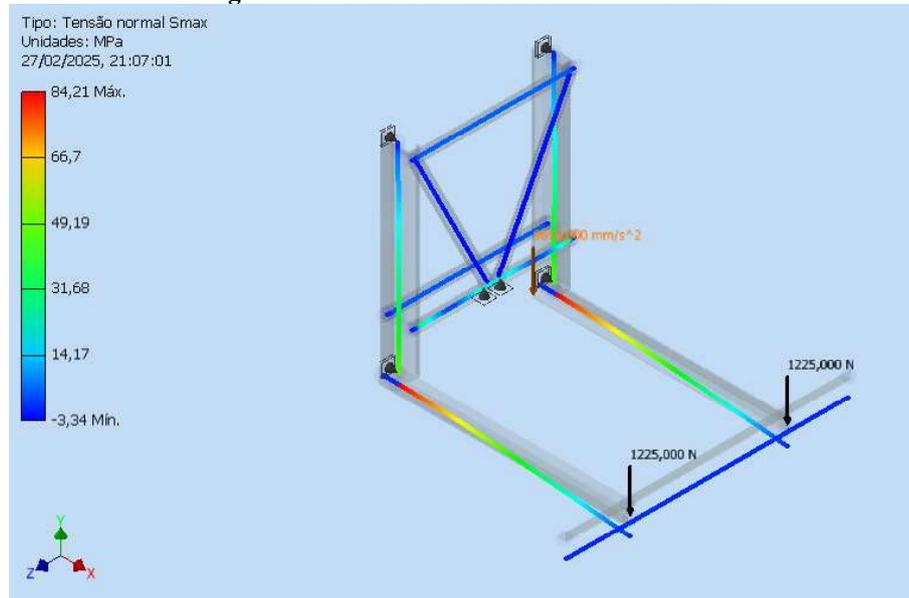


Fonte: Autoria própria (2025).

Nota-se que a $\epsilon_{m\acute{a}x}$ na parte móvel é de 4,76 mm e na parte fixa é de 6,91 mm. A NBR ISO 9386-1 (ABNT, 2013a) menciona que a instalação completa da plataforma de elevação deve resistir, sem deformação permanente, às forças impostas durante a operação normal e sob impacto nos batentes, quando viajando à velocidade nominal. Portanto, é permissível deformação local que não afete a operação da plataforma de elevação.

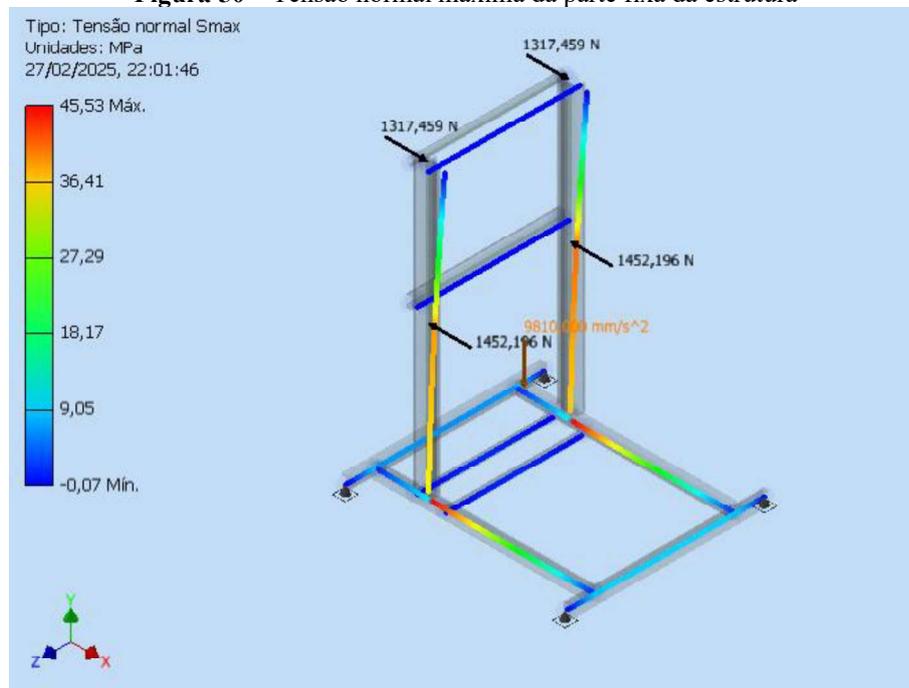
A tensão normal máxima ($\sigma_{\text{máx}}$) indica o ponto de maior esforço dentro do material. Logo também deve ser observada. Nas Figuras 49 e 50, pode-se verificar a $\sigma_{\text{máx}}$ da parte móvel estrutura e na parte fixa da estrutura, respectivamente.

Figura 49 – Tensão normal máxima da estrutura



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 50 – Tensão normal máxima da parte fixa da estrutura



Fonte: Autoria própria (2025).

Conforme as Figuras 49 e 50, a $\sigma_{\text{máx}}$ é 84,21 MPa na parte móvel e 45,53 MPa na parte fixa. Hibbeler (2009) descreve o FS como um valor numérico utilizado para determinar a carga

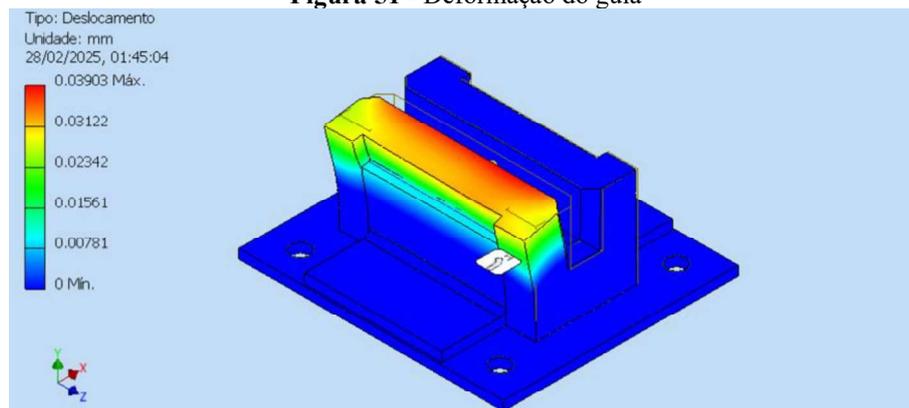
admissível em projetos ou análises estruturais. Esse fator representa a razão entre a carga de ruptura (F_{rup}) e a carga admissível (F_{adm}).

Utilizando o limite de escoamento do Aço presente na Tabela 5 e os valores obtidos nas análises, apresentados nas Figuras 49 e 50, obtém-se para a plataforma móvel FS igual a 2,97 e para a plataforma fixa FS igual a 5,49.

Dessa forma, considera-se que a plataforma elevatória irá suportar os esforços aos quais será submetida, visto que, o menor FS encontrado foi 2,97 e de acordo com a NBR 9386-1 (ABNT, 2013a), o FS exigido para todos os componentes do equipamento deve ser de 1,6, calculado com base na resistência à deformação e considerando a máxima carga dinâmica aplicada.

Para verificar se o guia suporta a carga que é transferida por ele, da parte móvel para a parte fixa, utilizou-se o método de análise de tensão, e observou-se o seu comportamento com relação a $\varepsilon_{m\acute{a}x}$ e $\sigma_{m\acute{a}x}$. Na Figura 51, observa-se a $\varepsilon_{m\acute{a}x}$ no guia de *nylon*.

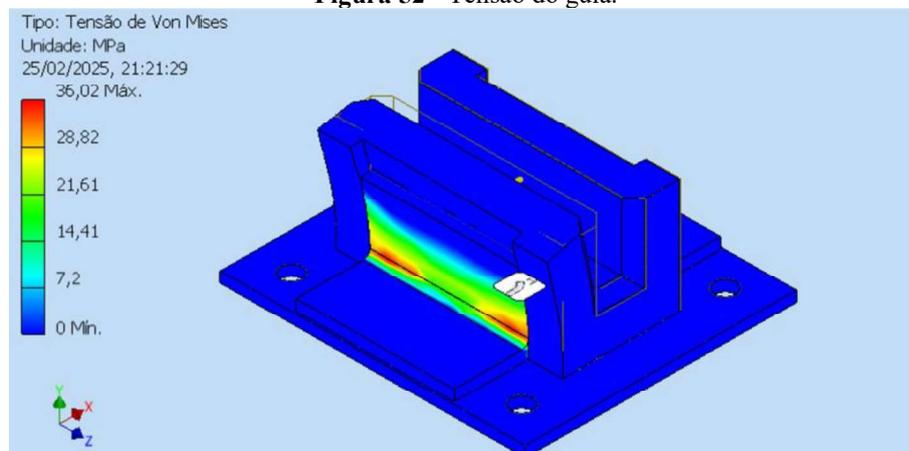
Figura 51 - Deformação do guia



Fonte: Autoria própria (2025).

Na Figura 52, observa-se a $\sigma_{m\acute{a}x}$ no guia de *nylon*.

Figura 52 - Tensão do guia.



Fonte: Autoria própria (2025).

Conforme as Figuras 51 e 52, os resultados obtidos na simulação foram $\varepsilon_{\text{máx}}$ igual a 0,04 mm e $\sigma_{\text{máx}}$ igual a 36 MPa.

O limite de escoamento do *nylon* presente no Inventor, nas propriedades mecânicas do material é igual a 82,75 MPa e a $\sigma_{\text{máx}}$ obtida na Figura 52. Portanto, o *FS* para o guia de *nylon* é igual a 2,29, e a $\varepsilon_{\text{máx}}$ é desprezível pois é considerado igual a 0.

Destarte, considera-se que o guia de *nylon* irá suportar os esforços aos quais será submetido. Pois o *FS* encontrado foi 2,29, e de acordo com a NBR 9386-1 (2013a), o *FS* mínimo exigido para todos os componentes do equipamento deve ser de 1,6, calculado com base na resistência à deformação e considerando a máxima carga dinâmica aplicada.

5.4 OTIMIZAÇÃO DOS PERFIS

Para realizar as verificações de ELU e a otimização, foi necessário obter o comprimento (L_x), esforço normal (N_d), momento em x (M_{xd}), momento em y (M_{yd}) e o esforço cortante (V_d) de cada perfil formado a frio e em seguida analisá-los utilizando o DimPerfil.

Na Tabela 14, pode-se observar os dados dos esforços de cada perfil.

Tabela 14 – Esforços dos perfis

Plataforma	Esforços				
	Viga	N_d [kN]	M_{xd} [kNcm]	M_{yd} [kNcm]	V_d [kN]
Móvel	1 e 2	0	113,6	1,16	1,281
	4 e 5	1,31	124,37	3,2	1,45
	3, 8 e 9	0,63	12,6	4	2,78
	6 e 7	1,1	0,81	0,42	0,02
	10	0	0,08	0,08	0
Fixa	1 e 2	0	15,6	0,94	1,71
	3 e 4	0,9	97,38	1,7	0,82
	5 e 6	0,13	111,6	1,73	1,32
	7	0	0,2	0	0
	8	0	0,1	0,02	0
	9 e 10	0	0,02	0,15	0

Fonte: Autoria própria (2025).

Para a análise dos resultados, adotou-se a flexão composta (f_{comp}) como principal critério, sem, contudo, desconsiderar os efeitos do V_d , da flexão (f) e do cisalhamento (τ). O *software* interpreta o valor 1 como 100% de utilização da capacidade do perfil e 0 como 0%. Dessa forma, se o resultado estiver no intervalo entre 0 e 1, considera-se que o perfil está aprovado para suportar os esforços aos quais está submetido.

Na Tabela 15, pode-se observar os resultados obtidos no DimPerfil.

Tabela 15 – Resultados obtidos no DimPerfil.

Plataforma	Resultados - NBR 14762 (ABNT, 2010)			
	Viga	f_{comp} [0 – 1]	V_d [kN]	$f e \tau$ [0 – 1]
Móvel	1 e 2	0,38	34,82	0,13
	4 e 5	0,24	44,38	0,05
	3, 8 e 9	0,28	14,92	0,05
	6 e 7	0,05	14,92	0
	10	0	13,353	0
Fixa	1 e 2	0,06	34,82	0
	3 e 4	0,35	34,82	0,1
	5 e 6	0,22	44,38	0,04
	7	0	24,74	0
	8	0,01	14,92	0
	9 e 10	0,01	14,92	0

Fonte: Autoria própria (2025).

Para a otimização dos perfis, adotou-se o FS mínimo de 1,6, conforme a NBR ISO 9386-1 (ABNT, 2013a). Estabelecendo a relação entre o FS e o valor máximo 1, considerado pelo *software* para aprovação do perfil, obtém-se 0,625. Dessa forma, perfis que apresentem um valor superior a 0,625 não devem ser aprovados.

Na Tabela 16, observa-se os perfis otimizados.

Tabela 16 – Perfis otimizados

Plataforma	Viga	Perfil Otimizado	Otimização				Redução de aço [kg]
			ρ [kg/m]	f_{comp} [0 – 1]	V_d [kN]	$f e \tau$ [0 – 1]	
Móvel	1 e 2	U 75x40x3	3,41	0,56	24,74	0,29	3,74
	4 e 5	U 100x50x17x1,5	2,64	0,59	18,46	0,28	5,08
	3, 8 e 9	Ue 50x25x10x1,2	1,05	0,55	7,1	0,23	2,71
	6 e 7	Ue 50x25x10x1,3	1,05	0,1	7,1	0	1,75
	10	L 30 x 2,00	0,89	0,2	6,8	0	1,06
Fixa	1 e 2	U 50x25x1,5	1,12	0,56	8,64	0,25	9,77
	3 e 4	U 75x40x2,65	3,043	0,61	22,34	0,31	5,58
	5 e 6	Ue 100x50x17x1,5	2,64	0,54	18,46	0,27	10,35
	7	Ue 50 x 25 x 10 x 1,20	1,05	0	7,1	0	2,61
	8	Ue 50 x 25 x 10 x 1,21	1,05	0,01	7,1	0	1,21
	9 e 10	Ue 50 x 25 x 10 x 1,22	1,05	0,01	7,1	0	2,15

Fonte: Autoria própria (2025).

De acordo com a Tabela 15, a otimização de todos os perfis formados a frio resulta em uma redução total de 46 kg de aço. Inclusive essa redução de peso ajuda na redução do dimensionamento do sistema hidráulico. Porém, essa otimização é viável apenas para a

construção de uma nova plataforma, visto que, para essa plataforma que já foi construída por França (2023), resultaria no desperdício dos perfis já montados.

6 CONCLUSÕES

A otimização do projeto de uma plataforma de elevação hidráulica acessível para cadeirantes resultou em um sistema mais eficiente e seguro, atendendo às necessidades de mobilidade reduzida.

O *software* Autodesk Inventor 2025 demonstrou ser eficiente nos processos de análise estrutural, modelagem 3D e otimização de perfis, permitindo a criação de uma estrutura robusta e funcional, capaz de suportar as cargas estipuladas.

Os objetivos gerais e específicos delineados inicialmente foram cumpridos, conforme evidenciado pelo levantamento bibliográfico e normativo realizado, bem como pela definição dos requisitos técnicos e funcionais. Os cálculos para dimensionamento do sistema hidráulico asseguram um funcionamento otimizado e seguro da plataforma. As análises de tensões, realizadas, confirmaram a eficácia do projeto, assegurando que a estrutura é confiável para uso.

Além disso, a otimização dos perfis de aço A-36, um material amplamente utilizado na engenharia, reforçou a resistência e a durabilidade da plataforma. A ferramenta empregada na análise e otimização dos perfis, o *software* DimPerfil, se demonstrou essencial para alcançar os objetivos propostos, permitindo uma avaliação detalhada dos ELU dos perfis.

Por fim, as considerações sobre os componentes elétricos e hidráulicos, incluindo chaves de fim de curso e relés, foram fundamentais para a segurança do sistema. O projeto, portanto, não apenas atinge os requisitos de acessibilidade, mas também se alinha às normas de segurança, demonstrando a viabilidade técnica e econômica do elevador hidráulico para cadeirantes.

6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O trabalho apresentado abrangeu diversos conteúdos de extrema importância para o funcionamento ideal da plataforma elevatória. No entanto, devido à complexidade desse equipamento, há uma vasta quantidade de informações adicionais que podem complementar o trabalho, como:

- adequação da carcaça seguindo normas regulamentadoras para garantir total segurança do passageiro;
- implementação de um Sistema de Controle para melhorar o acionamento da plataforma;
- comparação dos resultados obtidos com outros *softwares* de análise estrutural.

REFERÊNCIAS

ALVES FILHO, A. **Elementos finitos**: a base da tecnologia CAE / análise dinâmica. 2. ed. São Paulo: Editora Érica, 2009. 320 p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS-ASTM. **A 36/A 36M – 01**: Standard Specification for Carbon Structural Steel. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2001.

ASSOCIAÇÃO AÇOS BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 6355**. Perfis estruturais de formados a frio – Padronização. ABNT, dez. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 12892**: Elevadores unifamiliares ou de uso por pessoas com mobilidade reduzida - Requisitos de segurança para construção e instalação. Rio de Janeiro: ABNT, out. 2022a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 14762**: Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio Rio de Janeiro. ABNT, ago. 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 16042**: Elevadores elétricos de passageiros — Requisitos de segurança para construção e instalação de elevadores sem casa de máquinas. Rio de Janeiro: ABNT, 2013b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 16858-1**: Elevadores – requisitos de segurança para construção e instalação - Parte 1: elevadores de passageiros e elevadores de passageiros e cargas. Rio de Janeiro: ABNT, out. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 16858-2**: Elevadores — requisitos de segurança para construção e instalação - Parte 2: requisitos de projeto, de cálculos e de inspeções e ensaios de componentes. Rio de Janeiro: ABNT, ago. 2020b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 16858-3**: Elevadores — requisitos de segurança para construção e instalação - Parte 3: acessibilidade em elevadores para pessoas, incluindo pessoas com deficiência. Rio de Janeiro: ABNT, jan. 2022b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 5410**: Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro. ABNT, set. 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 9050**: Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos. Rio de Janeiro. ABNT, ago. 2020a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR ISO 9386-1**: Plataforma de elevação vertical de acessibilidade – Requisitos para segurança, dimensões e operações funcional. Parte 1: Plataformas de elevação vertical. Rio de Janeiro: ABNT, nov. 2013a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR ISO 9386-2**: Plataformas de elevação motorizadas para pessoas com mobilidade reduzida — Requisitos para segurança, dimensões e operação funcional - Parte 2: elevadores de escadaria para usuários sentados, em pé e em cadeira de rodas, deslocando-se em um plano inclinado. Rio de Janeiro: ABNT, jun. 2012.

ATCHISON, B. J; DIRETTE, D. K. **Conditions in occupational therapy**: effect on occupational performance. 5. ed. Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins, 2016. 584 p.

ATORK. **Relé de interface RL1C7A**. Atork, s.d. Disponível em: <https://atork.com.br/rl-reles-auxiliares/>. Acesso em: 28 fev. 2025.

AUTODESK. **O que é modelagem 3D?**. Autodesk, 2022. Disponível em: <https://www.autodesk.com/br/solutions/3d-modeling-software#:~:text=O%20que%20%C3%A9%20modelagem%203D,simular%20e%20renderiza%20projetos%20gr%C3%A1ficos>. Acesso em: 15 fev. 2025.

AZEVEDO NETTO, J. M.; FERNANDES, M. F.; ARAÚJO, R.; ITO, A. E. **Manual da hidráulica**. 9 ed. São Paulo: Blucher, 2015. 632 p.

BARBOSA, A.; COELHO, C. R. Estudo descritivo para elaboração de plataformas elevatórias em escadas. **Ação Ergonômica: Revista da Associação Brasileira de Ergonomia**, v. 17, n. 1, p. 1-17. 2023. DOI: <https://doi.org/10.4322/rae.v17e202308>. Disponível em: <https://revistaacaoergonomica.org/article/10.4322/rae.v17e202308/pdf/abergo-17-1-e202308.pdf>. Acesso em: 27 fev. 2025.

BASIC ELEVADORES. **Diferença 2 entre elevadores e plataformas de elevação**. Basic Elevadores, 2024. Disponível em: <https://basicelevadores.com.br/sustentabilidade/plataformas-elevatorias-x-elevadores-a-importancia-para-cadeirantes/>. Acesso em: 24 fev. 2025.

BATHE, K. J. **Finite elements procedure**. Nova Jersey: Prentice Hall, 2007. 1037 p.

BORGES, M. L.; SANTOS, C. H. A. O.; DAIER, R. N. (IN) Acessibilidade versus políticas públicas: A realidade das pessoas com deficiência no Brasil. **Revista Latino-Americana De Relações Internacionais**, Rio Grande – RS, v. 3, p. 90-98, abr. 2021. Disponível em: <https://www.seer.furg.br/cn/article/download/13043/8810/41964>. Acesso em: 29 out. 2021.

BRASIL. [Constituição (1988)]. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF: Presidência da República, [1988]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Constituicao/Constituicao.htm. Acesso em: 22 jan. 2025.

BRASIL. **Brasil Acessível**: Programa Brasileiro de Acessibilidade Urbana. Brasília: Ministério das Cidades, 2006. Disponível em: <https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSEMOB/Biblioteca/BrasilAcessivelCaderno02.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2025.

BRASIL. **Lei nº 10.098, 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, e dá outras providências. Brasília: Planalto, 2000. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/lei/l13146.htm. Acesso em: 04 mar. 2025.

BRASIL. **Lei nº 12.587, de 3 de janeiro de 2012.** Institui a Política Nacional de Mobilidade Urbana. Brasília: Planalto, 2012. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12587.htm. Acesso em: 10 fev. 2025.

BRASIL. **Lei nº 13.146, de 6 de julho de 2015.** Institui a Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (Estatuto da Pessoa com Deficiência). Disponível em: http://www.planalto.gov.br/CCIVIL_03/_Ato2015-2018/2015/Lei/L13146.htm. Acesso em: 29 out. 2024.

BUCHER. **Manual de instalação e comissionamento:** versão 1.1. Bucher Hydraulics, 2013. Disponível em: https://bucherhydraulics.com.br/pdf/2019/Manual_Unidade%20Hidraulica_Basic%20para_El evadores.pdf. Acesso em: 04 mar. 2025.

CONSELHO REGIONAL DE ENGENHARIA E AGRONOMIA DE MINAS GERAIS. **Cartilha do elevador.** 2019. Disponível em: <https://www.overelevadores.com.br/images/pdf/cartilha-elevador.pdf>. Acesso em 05 fev. 2025.

DERNORD. **Ball Valve /Butterfly Valve.** DERNORD, s.d. Disponível em: <https://www.dernord.com/collections/ball-valve-butterfly-valve>. Acesso em: 28 fev. 2025.

ESPEL ELEVADORES. **8 vantagens do elevador hidráulico residencial.** Espel Elevadores, 2021. Disponível em: <https://espel.com.br/8-vantagens-do-elevador-hidraulico-residencial/#:~:text=O%20elevador%20hidr%C3%A1ulico%20residencial%20%C3%A9,pela%20press%C3%A3o%20gerada%20dos%20pist%C3%B5es>. Acesso em: 15 fev. 2025.

FIALHO, A. B. **Automação hidráulica:** projetos, dimensionamento e análise de circuito. 7 ed. São Paulo: Érica, 2018. 304 p.

FISH, J.; BELYTSCHKO, T. **Um primeiro curso em elementos finitos.** Rio de Janeiro: LTC, 2009. 256 p.

FLUID POWER. **Flow control.** Velocity Fuse - Size 10. Fluid Power, 2013. Disponível em: <https://www.relatedfluidpower.com/wp-content/uploads/2013/10/D-DECVF.pdf>. Acesso em: 28 fev. 2025.

FRANÇA, R. G. S. **Construção de um protótipo de uma plataforma de acessibilidade de uso individual para pessoas com mobilidade reduzida.** 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnólogo em Automação Industrial) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Cajazeiras, 2023.

GAZZERA SLR. **Hydraulic Power Pack**. Gazzera SRL, 2024. Disponível em: <https://www.gazzeraitaly.com/en/hydraulic-power-packs/>. Acesso em: 4 mar. 2025.

GUEDES, J. A. M. **A eficiência energética em elevadores e escadas rolantes**. 2017. Dissertação (Mestrado em Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2017.

HIBBELER, R. C. Resistência dos materiais. 10 ed. São Paulo: Pearson, 2019. 767p.

HIDROMINAS. **O que é uma unidade hidráulica?** Hidrominas, 2024. Disponível em: <https://hidrominas.com.br/o-que-e-uma-unidade-hidraulica/#:~:text=Uma%20unidade%20hidr%C3%A1ulica%20%C3%A9%20um,v%C3%A1lvulas%20e%20reguladores%20de%20press%C3%A3o>. Acesso em: 28 fev. 2025.

HYDRACO. **Qual a importância da válvula hidráulica de fim de curso na indústria?** Hydraco, 2024. Disponível em: <https://www.hydraco.com.br/blog/qual-a-importancia-da-valvula-hidraulica-de-fim-de-curso-na-industria/> Acesso em: 28 fev. 2025.

IESAB. **Plataforma de acessibilidade vertical**. IESAB, 2016. Disponível em: <https://iesab.com.br/plataforma-de-acessibilidade-vertical/>. Acesso em: 28 fev. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA-IBGE. **Pessoas com deficiência têm menor acesso à educação, ao trabalho e à renda**. IBGE, 2024. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/37317-pessoas-com-deficiencia-tem-menor-acesso-a-educacao-ao-trabalho-e-a-renda>. Acesso em 29 out. 2024.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 7465**: Passenger lifts and service lifts - Guide rails for lift cars and counterweights - T-type. Geneva: ISO, 2007.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION-ISO. **ISO 11237**: Rubber hoses and hose assemblies — Compact wire-braid-reinforced hydraulic types for oil-based or waterbased fluids — Specification. ISO, set. 2017.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION-ISO. **ISO 6020-1**: Hydraulic fluid power — Mounting dimensions for single rod cylinders, 16 MPa (160 bar) series — Part 1: Medium series. ISO, ago. 2015.

JACOB, F. **Tutorial de dimperfil**: software gratuito para dimensionamento de perfis formados a frio. O calculista de aço, 2020. Disponível em: <https://calculistadeaco.com.br/tutorial-de-dimperfil-software-gratuito-para-dimensionamento-de-perfis-formados-a-frio/>. Acesso em: 28 fev. 2020.

MARINHO, G. **Fusível de fluxo ou válvula antiqueda**. Hidráulica & pneumática, 2020. Disponível em: <https://hidraulicaepneumatica.com/fusivel-de-fluxo-ou-valvula-antiqueda/> Acesso em: 28 fev. 2025.

MEU ELEVADOR. **Diferença entre elevador e plataforma elevatória.** Meu Elevador, 2019. Disponível em: <https://meuelevador.com/diferenca-entre-elevador-e-plataforma-elevatoria/>. Acesso em: 10 fev. 2025.

MEU ELEVADOR. **Plataforma elevatória de acessibilidade:** preços, dimensões mínimas e como escolher a ideal. Meu elevador, 2021. Disponível em: https://meuelevador.com/plataforma-elevatoria-de-acessibilidade-quanto-custa-medidas/?_gl=1*1i2yybv*_gcl_au*NzY0NjE4MzUzLjE3Mzc1NjkxMzU. Acesso em: 10 fev. 2025.

MODRALI. **Filtro hidráulico da linha de sucção.** Modrali, s.d. Disponível em: <https://www.modrali.com.br/produtos/aceessorios/filtro-de-sucacao>. Acesso em: 28 fev. 2025.

NAÇÕES UNIDAS BRASIL-ONU BRASIL. **Cerca de um bilhão de pessoas com deficiência têm acesso negado à tecnologia assistiva.** 2022. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/182189-cerca-de-um-bilh%C3%A3o-de-pessoas-com-defici%C3%Aancia-t%C3%Aam-acesso-negado-tecnologia-assistiva>. Acesso em: 23 jan. 2025.

NEPIN. **Entenda a diferença entre válvulas de bloqueio e válvulas de isolamento.** Nepin, 2022. Disponível em: <https://www.nepin.com.br/blog/industria/entenda-a-diferenca-entre-valvulas-de-bloqueio-e-valvulas-de-isolamento/#:~:text=velocidade%20do%20%C3%AAmbolo.-,O%20que%20s%C3%A3o%20V%C3%A1lvulas%20de%20Isolamento?,Caracter%C3%ADsticas%20f%C3%ADsticas>. Acesso em: fev. 2025.

OLIVEIRA, G. C. R. **Desenvolvimento de um elevador assistivo para pessoas com mobilidade reduzida.** 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual Paulista, Campus de Guaratinguetá, Guaratinguetá, 2020.

OLIVEIRA, G. C. R. **Dimensionamento de um elevador assistivo, com sistema de fuso, para usuários de cadeira de rodas.** 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual Paulista, Campus de Guaratinguetá, Guaratinguetá, 2017.

OLIVEIRA, G. I. A. **Projeto de uma plataforma de elevação motorizada para pessoas com mobilidade reduzida.** 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2022.

OLIVEIRA, P. O. **Projeto estrutural de elevador para pessoas com mobilidade reduzida.** 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2023.

ORTOBRAS. **Catálogo de acessibilidade:** plataformas. Barão, RS: Ortobras, 2020. Disponível em: <https://acessplus.com.br/wp-content/uploads/2020/01/CATALOGO-ACESSIBILIDADE-PLATAFORMAS-ORTOBRAS.pdf>. Acesso em: 09 fev. 2025.

PONTES, T. F. **Avaliação da mobilidade urbana na área metropolitana de Brasília.** 2010. Dissertação (Mestrado de Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de Brasília, Distrito Federal, 2010.

RIBEIRO, S. B. **Mobilidade e acessibilidade em centros urbanos**: organização de Sandra Bernardes Ribeiro. Brasília: IPHAN, 2014.

Sanchez, E. **Método dos estados limites últimos**. Revista da Anicer, 2022. Disponível em: <https://revista.anicer.com.br/metodo-dos-estados-limites-ultimos/#:~:text=O%20Estado%20Limite%20%C3%9Altimo%20est%C3%A1,casos%20especiais>. Acesso em: 18 mar. 2025.

SANTANA, J. J. **Dimensionamento de um elevador, atendendo acessibilidade de pessoas em um prédio**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Centro Universitário do Sul de Minas, Virgínia, 2020.

SENADO FEDERAL. **Senadores defendem mais avanços nas políticas públicas ligadas à acessibilidade**. Senado Federal, Brasília, 2024. Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/noticias/infomaterias/2024/09/senadores-defendem-mais-avancos-nas-politicas-publicas-ligadas-a-acessibilidade>. Acesso em: 22 jan. 2025.

SERVO. **Válvula de fluxo**. Servo, s.d. Disponível em: <https://servo.ind.br/valvula-reguladora-fluxo#:~:text=O%20que%20%C3%A9%20a%20v%C3%A1lvula,de%20controle%20de%20fluxo%20necess%C3%A1rio>. Acesso em: 28 fev. 2025.

SMC. **JSX, 2 port, direct operated, solenoid valve, 1/8" to 3/8"**. SMC, s.d. Disponível em: <https://www.smcusa.com/products/jsx-2-port-direct-operated-solenoid-valve-1-8-to-3-8-~175665>. Acesso em: 28 fev. 2025.

SMC. **Válvulas de retenção**: o que são e quais são suas funções em indústrias de diferentes setores?. SMC, 2023. Disponível em: <https://smcbr.com.br/valvulas-de-retencao-o-que-sao-e-quais-sao-suas-funcoes-em-industrias-de-diferentes-setores/#:~:text=V%C3%A1lvulas%20de%20reten%C3%A7%C3%A3o%2C%20tamb%C3%A9m%20conhecidas,desse%20fluxo%20na%20dire%C3%A7%C3%A3o%20oposta>. Acesso em 28 fev. 2025.

SOUSA, K. D.; UTSCH, M. C. L.; e CARDOZO, S. M. S. Estudos sobre tecnologia assistiva: um panorama das produções científicas brasileiras. **Missões: Revista de Ciências Humanas e Sociais**, v. 10, n. 1, p. 1-14, jan/dez 2024. DOI: <https://doi.org/10.62236/missoes.v10i1.265>. Disponível em: <https://revistamissoeschs.com.br/missoes/article/view/265>. Acesso em: 23 jan. 2025.

TOTELES, A.; ALHAFFIS, F. Analisis material kontruksi chasis mobil listrik laksanakan v2 menggunakan software autodesk inventor. **Jurnal Teknik Mesin. Bengkalis, Indonesia**, v. 7, n. 1, p. 30-37, abril 2021. Disponível em: <https://www.journal.ubb.ac.id/machine/article/view/1931>. Acesso em: 15 fev. 2025.

TUMULERO, N. **Tudo o que você precisa saber sobre NBR**: normas técnicas da ABNT. Mettzer, 2021. Disponível em: <https://blog.mettzer.com/nbr-abnt/>. Acesso em: 10 fev. 2025.

WAGUESPACK, C. **Mastering Autodesk® Inventor® 2015 and Autodesk® Inventor LT™ 2015**. Indianapolis, Indiana, EUA: John Wiley & Sons, 2014.

WEG. **LSW - final de carrera**. WEG, 2021. Disponível em: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h29/h9a/WEG-LSW-final-de-carrera-50100756-es.pdf>. Acesso em: 28 fev. 2025.

WEG. **Soluções integradas para instalações elétricas**. WEG, 2024. Disponível em: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/hec/h5f/WEG-solucoes-integradas-para-instalacoes-eletricas-50009824-pt.pdf>. Acesso em: 28 fev. 2025.

APÊNDICE A – PARAMETRIZAÇÃO DO INVERSOR CW 100

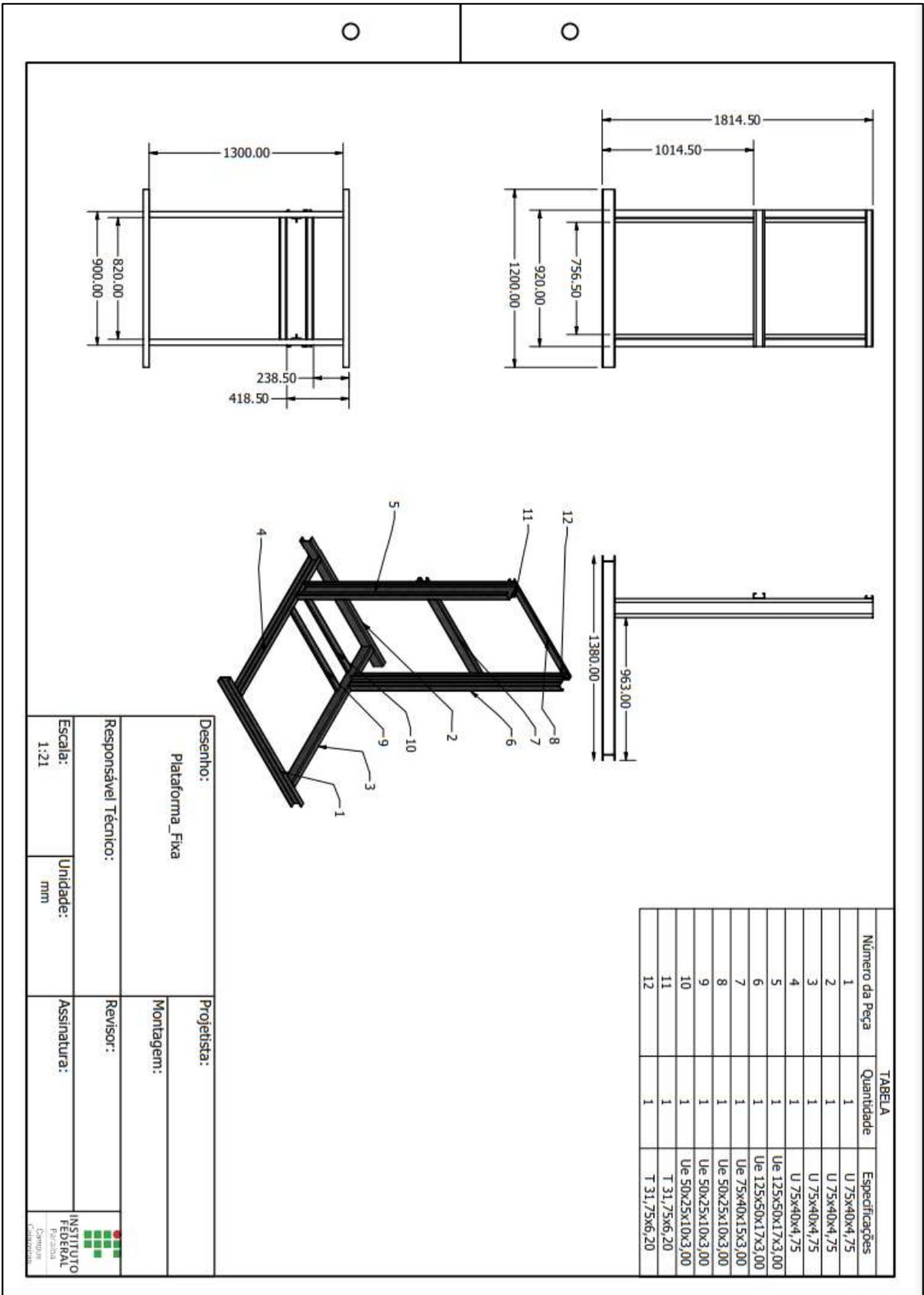
O apêndice A apresenta a Tabela 17 na qual se encontram os parâmetros do inversor modelo CW 100, com a rampa de aceleração e desaceleração programada para ele.

Tabela 17 – Parametrização do inversor CW 100 para o projeto

Parâmetro	Valor
P0-01	1
P0-01	0i
P0-02	1
P0-10	60 HZ
P0-08	60 HZ
P0-12	60 HZ
P0-17	3
P0-18	3
P4-0	1
P4-2	47
P1-0	0
P1-01	3 kW
P3-02	380 V
P1-03	3,29
P3-04	60 Hz
P3-05	1750 rpm
P3-10	3,79 A
P3-37	2

Fonte: Autoria própria (2025).

APÊNDICE B – DESENHO TÉCNICO DE PARTE FIXA DA ESTRUTURA



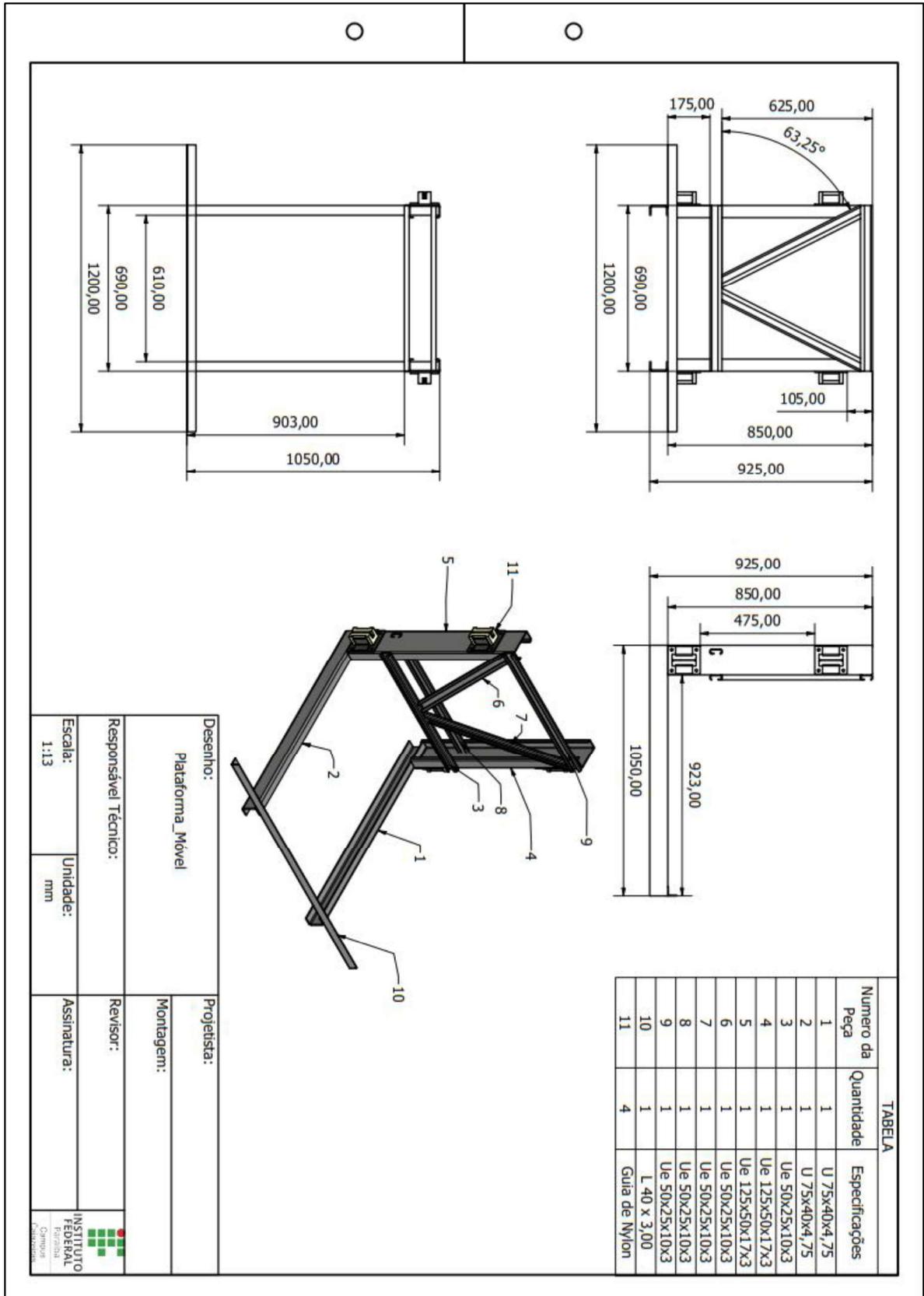
TABELA

Número da Peça	Quantidade	Especificações
1	1	U 75x40x4,75
2	1	U 75x40x4,75
3	1	U 75x40x4,75
4	1	U 75x40x4,75
5	1	Ue 125x50x17x3,00
6	1	Ue 125x50x17x3,00
7	1	Ue 75x40x15x3,00
8	1	Ue 50x25x10x3,00
9	1	Ue 50x25x10x3,00
10	1	Ue 50x25x10x3,00
11	1	T 31,75x6,20
12	1	T 31,75x6,20

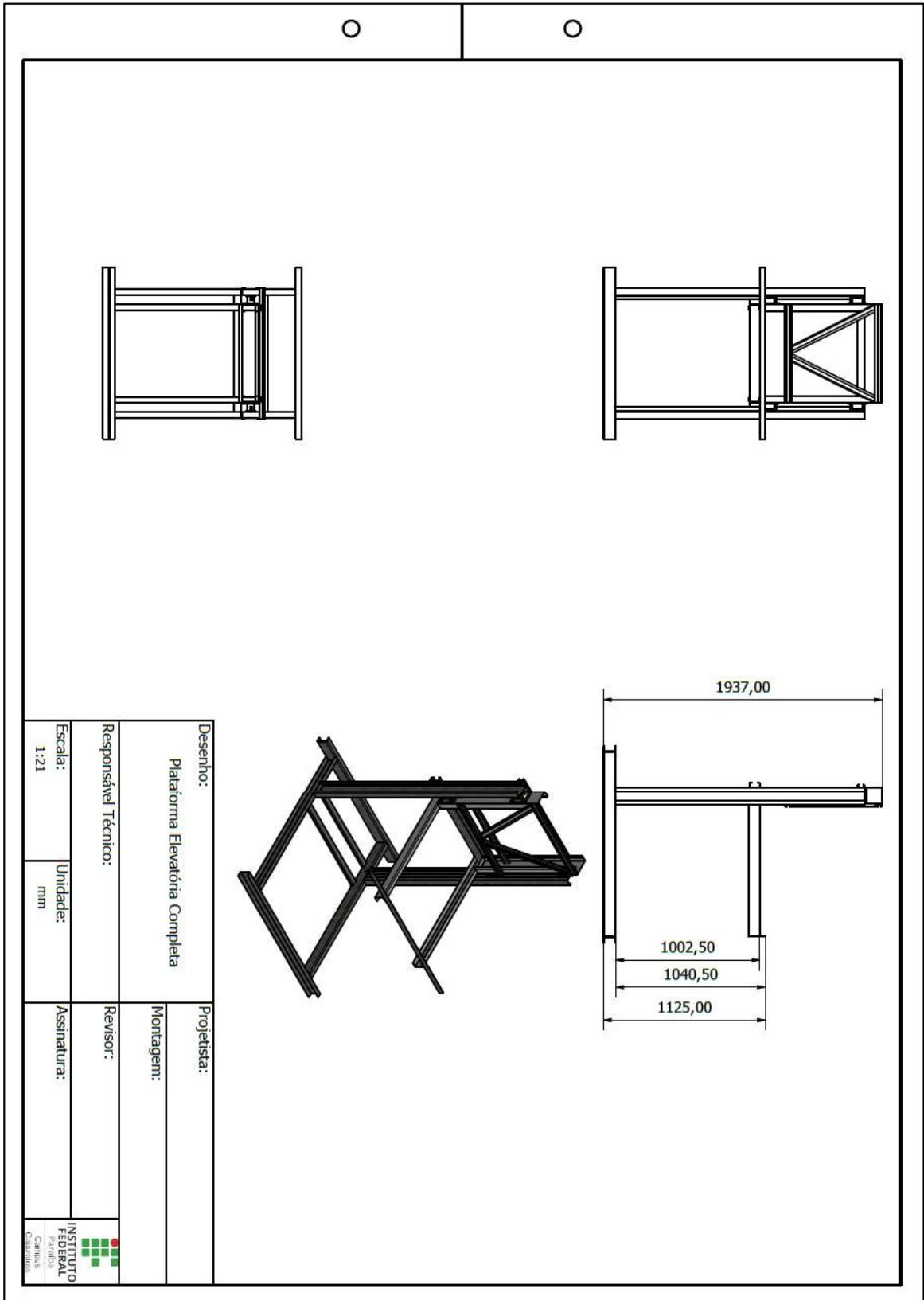
Desenho: Plataforma_Fixa		Projetista:
Responsável Técnico:		Montagem:
Escala: 1:21	Unidade: mm	Revisor:
		Assinatura:



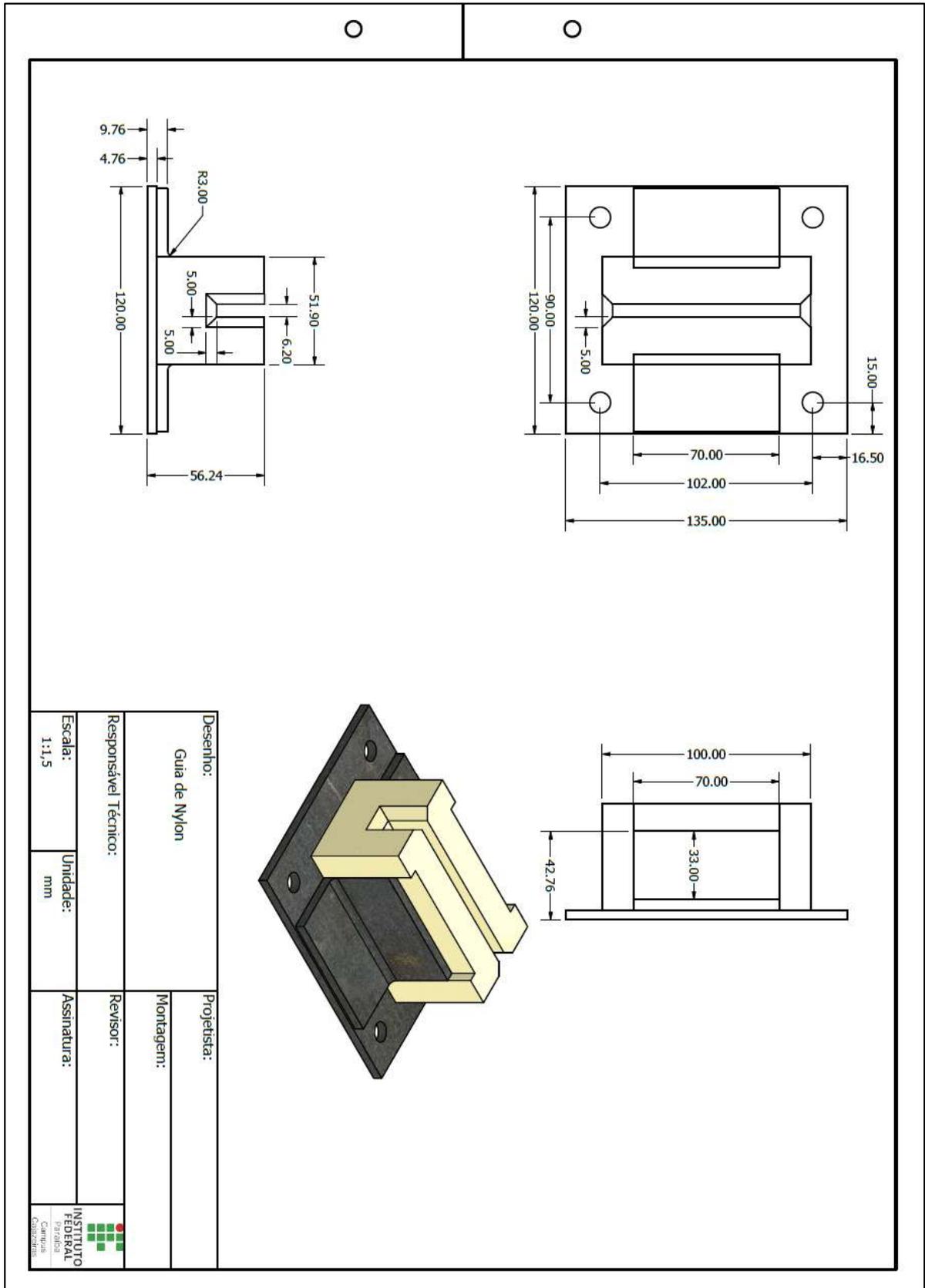
APÊNDICE C – DESENHO TÉCNICO DE PARTE MÓVEL DA ESTRUTURA



APÊNDICE D – DESENHO TÉCNICO DE PARTE DA ESTRUTURA COMPLETA



APÊNDICE E – DESENHO TÉCNICO DA CORREDIÇA DE NYLON



APÊNDICE F – DESENHO TÉCNICO CICUITOS ELÉTRICO E HIDRÁULICO

