

1. TÍTULO DO PROJETO

#12650# ORGANIZAÇÃO E AUTOMATIZAÇÃO DE ESTOQUE

1.1 EQUIPE

Unidade SENAI: Araguari-MG

Instrutor Orientador: Baltasar Alves Luiz Júnior

Adalberto Sebastião de Araújo – Curso :Técnico em Automação – Função: Elaboração do protótipo.

Isaac Nascimento Espíndula – Curso: Técnico em Automação – Função: Orçamento e parte técnica.

Leandro Aguiar Borges – Curso: Técnico em Automação – Função: Programação.

1.2 PROBLEMA

A Automação¹⁰ está no mercado de automação industrial a mais de 35 anos, oferecendo produtos e serviços para atender as áreas de metalurgia, siderurgia, petroquímica, transportes, geração e transmissão de energia elétrica no Brasil.

A expansão de mercado na área de automação, obrigou a empresa a aumentar o volume de equipamentos armazenados em seu estoque, ocasionando um problema de gestão de caixas nas prateleiras do local e o aumento da movimentação do funcionário responsável por essa área, o que aumentou também os riscos de segurança e lentidão no despacho de mercadorias.

1.3 SOLUÇÃO

- Maior rapidez na identificação e despacho de produtos.
- Diminuição dos riscos de segurança do funcionário.
- Maior organização no estoque de produtos.
- Maior eficiência no processo de gestão de estoque.

1.3.1 ÁREA TECNOLÓGICA DA SOLUÇÃO

Automação Industrial, Sistemas Embarcados e Tecnologia da Informação (IoT e Sistemas Supervisórios).

Breve Descrição da Aplicação no Projeto

O projeto do Transelevador HF-006 integra essas áreas através dos seguintes pilares práticos:

Automação Industrial e Mecatrônica: Aplicação de lógica de controle de movimento para posicionamento espacial em matriz (5 colunas e 6 gavetas), gerenciamento de motores, sensores de fim de curso e malha de segurança industrial (intertravamento de portas e botões de emergência).

Sistemas Embarcados: Utilização do microcontrolador CLP para o processamento de rotinas em tempo real, controle de entradas/saídas (I/O) e execução do firmware em linguagem C++.

Tecnologia da Informação (IoT e Supervisórios): Criação de um ecossistema conectado onde o próprio ESP32 atua como um servidor web local. Isso viabiliza um Dashboard (interface supervisória) acessível via Wi-Fi para controle e monitoramento remoto do transelevador, alinhando o projeto aos conceitos de Indústria 4.0.

O projeto é baseado no método **IWS (Integrated Work System)**.

O **IWS (Integrated Work System)** que significa **Sistema Integrado de Trabalho** é um modelo de gestão utilizado por muitas indústrias para melhorar a produtividade, reduzir desperdícios, aumentar a qualidade e envolver os colaboradores nos resultados da empresa.

Principais objetivos do IWS.

- Eliminar defeitos (Zero Defeito)
- Reduzir perdas e desperdícios
- Melhorar a segurança no trabalho
- Aumentar a eficiência dos equipamentos
- Desenvolver a participação dos funcionários
- Criar uma cultura de melhoria contínua

Pilares do IWS

O sistema normalmente é baseado em alguns pilares:

1. **Segurança** – prevenir acidentes.
2. **Qualidade** – produzir sem defeitos.
3. **Produtividade** – aumentar a eficiência.
4. **Manutenção Autônoma** – operadores cuidam dos equipamentos.
5. **Melhoria Contínua** – resolver problemas de forma permanente.
6. **Desenvolvimento das Pessoas** – treinamento e capacitação.

1.3.2 JUSTIFICATIVA

O projeto do Transelevador HF-006 justifica-se pela crescente necessidade de otimização dos processos de logística e armazenamento vertical na indústria moderna, unindo automação mecânica, segurança industrial e conectividade IoT em um sistema compacto, inteligente e de alta eficiência.

Sob o aspecto técnico, o projeto válido a viabilidade de implementar um controle de movimentação espacial preciso (mapeamento em matriz de 5 colunas e 6 gavetas) utilizando um microcontrolador de alto desempenho e baixo custo (CLP). A solução eleva o padrão de confiabilidade operacional ao integrar uma malha de segurança eletrônica rigorosa (intertravamento de portas e botões de emergência com reset obrigatório) e um sistema supervisório web nativo, permitindo o monitoramento em tempo real e mitigando falhas humanas ou colisões no manuseio de cargas.

Do ponto de vista econômico, a automação do armazenamento por meio do transelevador promove a máxima eficiência e aproveitamento do espaço físico vertical, reduzindo custos com a necessidade de expansão de áreas de galpões. Além disso, a velocidade e a repetibilidade dos ciclos de armazenamento e retirada de peças aumentam a produtividade logística e reduzem perdas financeiras decorrentes de danos a materiais ou paradas inesperadas na linha de produção.

Por fim, os benefícios ambientais concentram-se na eficiência energética do sistema, proporcionada pelo planejamento de trajetórias otimizadas dos motores, evitando desperdício de eletricidade. A digitalização completa do controle de inventário por meio do dashboard web também elimina a necessidade de relatórios e registros físicos em papel, alinhando o projeto às práticas sustentáveis e ecológicas demandadas pela Indústria 4.0.

1.3.3 OBJETIVO

Objetivo Geral:

Desenvolver e implementar um protótipo automatizado de transelevador (Sistema HF-006) controlado por microcontrolador ESP32, integrando uma malha de segurança industrial e uma interface supervisória web nativa para otimização e monitoramento de sistemas de armazenamento vertical.

Objetivos Específicos:

Mapear logicamente as coordenadas espaciais para o posicionamento preciso do transelevador em uma matriz física de 5 colunas e 6 gavetas;



Figura 1: Imagem do protótipo dos armários.

Desenvolver o firmware de controle em linguagem C++ para o microcontrolador ESP32, gerenciando o acionamento de motores e a leitura de sensores de fim de curso;

Implementar um sistema de segurança redundante contendo intertravamento eletrônico de portas, botão de parada de emergência e rotina de inicialização segura com reset obrigatório;

Programar um servidor HTTP local embarcado no ESP32 para disponibilizar um painel de controle (dashboard web) integrado via Wi-Fi;

Validar a eficiência operacional do conjunto (mecânico, eletrônico e software) através de testes práticos de ciclos de armazenamento e retirada de materiais.

1.3.4 DESENVOLVIMENTO

Normalmente, os produtos das empresas que representamos chegam até o setor de armazenamento, com a nota fiscal fixada na caixa, e devem ser armazenados nos espaços das prateleiras. O funcionário coleta os dados da nota fiscal e adiciona em uma planilha simples, apenas para registro. Após, coloca o produto em qualquer espaço disponível nas prateleiras. Não temos sistema de busca ou identificação interna.

Ao receber uma requisição do setor de vendas, o funcionário deve encontrar o respectivo produto na prateleira e preencher a ficha com os dados de saída do estoque. Esse processo é totalmente manual.

- Tamanho do local do estoque: 10m x 5m
- Uma entrada/saída por porta de correr, 90 cm
- Grade cercando o estoque, onde possui a entrada da porta
- As prateleiras, em sua maioria, têm 1,90m de altura com 6 bandejas cada
- Existe também uma mesa de apoio para o encarregado do estoque.

Essas são as imagens reais do setor de estoque.



Figura 2: imagem 1 do setor de estoque.



Figura 3: Imagem 2 do setor de estoque.



Figura 4: Imagem 3 do setor de estoque.



Figura 5: Imagem 4 do setor de estoque.

Para solucionar esses problemas forão dividido em três passos.

Primeiro passo: Organização do espaço.

A organização do espaço foi estruturada da seguinte forma:

Corredores: 2 corredores, com 1,30 metro de distância (largura útil) entre as faces dos armários.

Distribuição: 4 seções de armazenagem, contendo 6 armários por seção.

Capacidade Total: 24 armários, que comportam um total de 120 gavetas.

Dimensões Unitárias dos Armários: 1,50 m (largura) x 0,60 m (profundidade) x 1,90 m (altura).

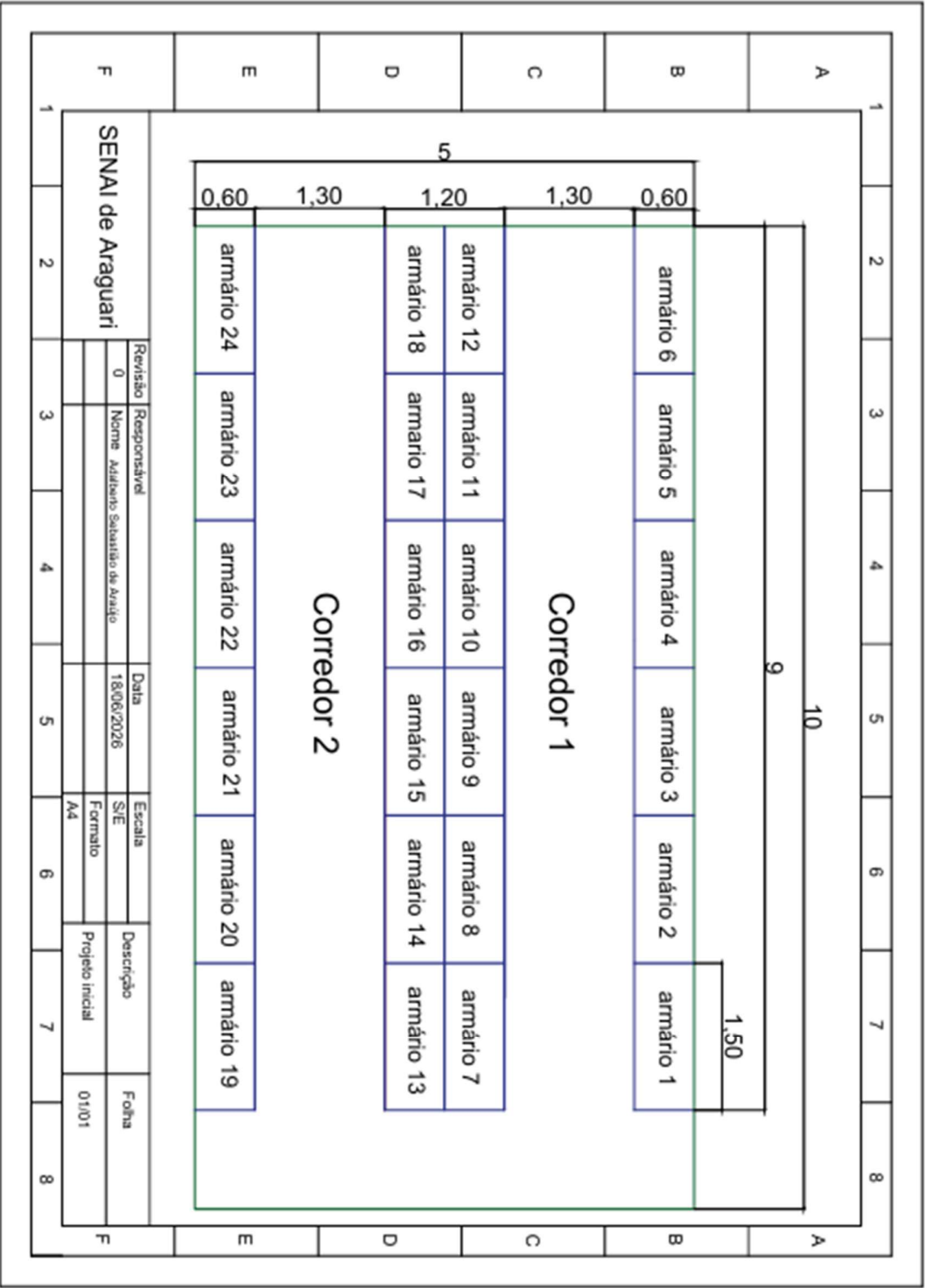


Figura 6: Planta da organização dos armários.

Segundo passo: Organização do estoque.

Para a organização interna do estoque e o pleno funcionamento do sistema automatizado, foi necessário dimensionar as gavetas (bandejas) de armazenagem. O projeto utiliza um sistema de extração por elevação inferior, no qual o transelevador atua por baixo da gaveta para suspendê-la e movimentá-la. Considerando as dimensões unitárias de cada armário (1,50 m de largura x 0,60 m de profundidade x 1,90 m de altura) e a capacidade estabelecida de 5 gavetas por armário, o vão bruto disponível por nível é de 1500 mm de largura, 600 mm de profundidade e 380 mm de altura. Com base nesse volume, as gavetas foram projetadas com dimensões nominais específicas para garantir as folgas mecânicas necessárias.

1. Dimensões da Gaveta

Parâmetro	Vão Bruto do Armário	Dimensão Final da Gaveta	Folga de Segurança (Total)
Largura	1500 mm	1440 mm	60 mm (30 mm em cada lateral)
Profundidade	600 mm	560 mm	40 mm (reco no fundo)
Altura	380 mm	240 mm	140 mm (vão livre superior)

Tabela 1: Tabela de dimensões da gaveta.



Figura 7: Modelo estrutural da gaveta industrial.

1. Justificativas Técnicas e Folgas Operacionais

As dimensões reduzidas em relação ao vão bruto do armário foram estabelecidas estritamente para acomodar a mecânica de movimentação do transelevador:

Largura (1440 mm): A folga lateral de 60 mm é essencial para a instalação das cantoneiras metálicas em "L" na estrutura do armário, sobre as quais a gaveta ficará apoiada. Esse espaço também absorve pequenas oscilações do transelevador no eixo X durante o alinhamento.

Profundidade (560 mm): O recuo de 40 mm atua como margem de segurança no fundo do armário. Isso evita colisões mecânicas caso o curso do extrator sofra leves variações e oferece espaço hábil para a instalação de sensores de fim de curso ou batentes físicos.

Altura (240 mm): A altura reduzida da gaveta cria uma janela livre fundamental de 140 mm dentro de cada nível. Esse espaço é distribuído para a operação do transelevador da seguinte forma:

60 mm para acomodar a espessura do órgão extrator (garfos/plataforma) quando ele entra embaixo da gaveta.

20 mm de curso de elevação útil no eixo Z, necessário para levantar a carga e desencaixá-la dos apoios laterais.

60 mm de margem de segurança superior, garantindo que o mecanismo entre, eleve a gaveta e a extraia sem atrito com o nível imediatamente superior.

2. Características Construtiva.

Reforço Estrutural na Base: Devido à largura considerável de 1440 mm, a base da gaveta requer reforços estruturais (como perfis metálicos soldados na parte inferior) para mitigar a deflexão (envergamento). Isso assegura que a estrutura se mantenha rígida ao ser suspensa de forma centralizada pelo transelevador, garantindo estabilidade e precisão na leitura dos sensores durante o transporte.

Para organizar e facilitar a localização dos produtos, foram etiquetadas as gavetas da seguinte maneira.

Como são 4 fileiras de armários e cada fileira tem 6 armários foram divididos em colunas, coluna 1, 2, 3 e 4.

E cada prateleira foi etiquetada com a letra A e G onde A significa armário e G significa gaveta.

Exemplo: A1-G6 que quer dizer (armário 1/gaveta 6).

A1-G6	A2-G6	A3-G6	A4-G6	A5-G6
A1-G5	A2-G5	A3-G5	A4-G5	A5-G5
A1-G4	A2-G4	A3-G4	A4-G4	A5-G4
A1-G3	A2-G3	A3-G3	A4-G3	A5-G3
A1-G2	A2-G2	A3-G2	A4-G2	A5-G2
A1-G1	A2-G1	A3-G1	A4-G1	A5-G1

Figura 8: Imagem retirado do painel de controle do transelevador coluna 1.

Terceiro passo: Automação.

Para a automação do protótipo foi utilizado placa HF - 006 controladora ESP32.

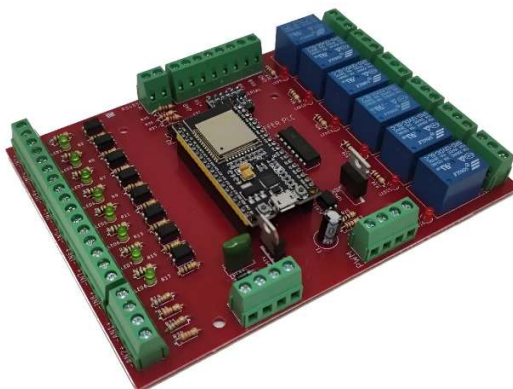


Figura 9: Imagem da placa HF - 006

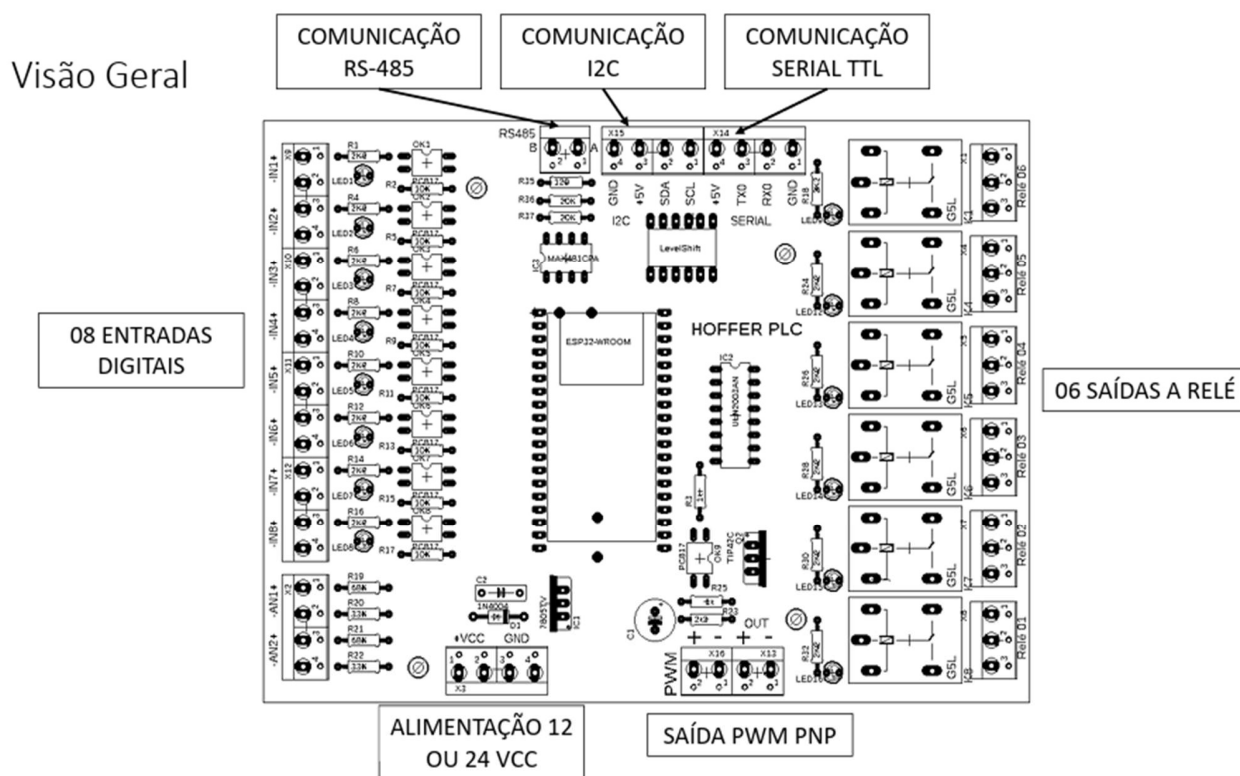


Figura 10: Visão geral do esquema elétrico da placa HF - 006

Para o funcionamento da placa HF – 006 foi criado um painel elétrico que tem a função de controlar a movimentação do transelevador.

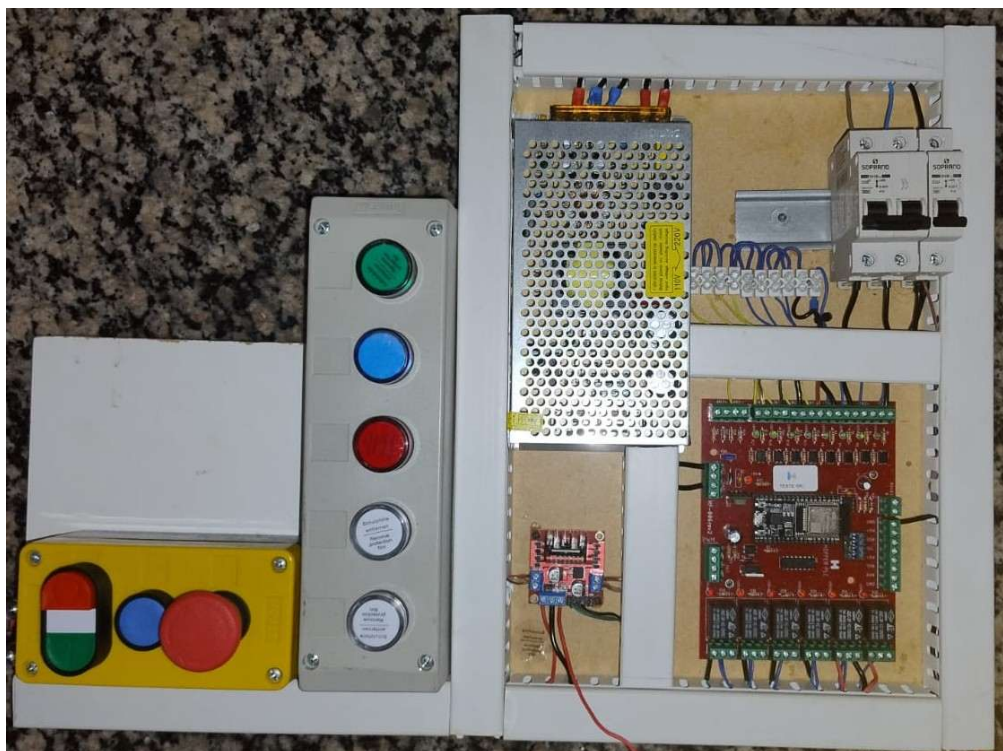


Figura 10: Imagem do painel de controle do protótipo do transelevador.

Para a criação do painel elétrico foi utilizado os seguintes componentes.



Figura 11: Botão duplo liga desliga.



Figura 12: Botão de pulso azul.



Figura 13: Botão de emergência cogumelo trava.



Figura 14: 5 sinaleiro Led monobloco.

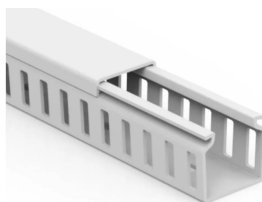


Figura 15: Canaleta Simi aberta



Figura 36: Caixa p/ botoeira plástico vazia



Figura 17: Trilho Din Ts35 perfurado 20cm



Figura 18: Caixa vazia p/ botoeira 3 furos.



Figura 19: Cabo USB para ESP32.



Figura 20: Ponte H dupla L298N.



Figura 21: Placa HF- 006 controlador ESP32.



Figura 22: Disjuntor bipolar 32A.



Figura 23: Disjuntor mono polar 20A.



Figura 24: Fonte chaveada 12V.

Para a criação do transelevador e a gavetas forão utilizado os seguintes materiais.



Figura 25: Trilho telescópico gaveta 55cm.



Figura 26: Esteira porta cabo 10x10mm.



Figura 27: Conector emenda 2 polos.



Figura 27: Roda 68mm e motor DC 3 – 6V



Figura 28: Expositor porta carrinho.

Dimensionamento e Especificação Técnica do Transelevador (Projeto HF-006)

O desenvolvimento do transelevador automatizado HF-006 foi dimensionado para operar em um corredor de 1,30 metros de largura por 10 metros de comprimento, com capacidade de elevação vertical de 2 metros e manipulação de uma carga útil máxima de 30 kg. Devido à inércia mecânica gerada por essa carga e às distâncias percorridas, o projeto adota características de uma automação em escala semi-industrial, exigindo componentes de alta robustez mecânica e precisão eletrônica.

1. Requisitos e Dimensionamento Mecânico

A integridade estrutural e a precisão dos movimentos são garantidas pela seleção de materiais que minimizam a flexão e a torção durante as operações de aceleração e frenagem:

Estrutura da Torre Vertical (Eixo Y): Para suportar a elevação de 30 kg a uma altura de 2 metros, a torre foi projetada utilizando perfis de alumínio estrutural de alta densidade (dimensões de 40x80 mm ou 80x80 mm). Como alternativa viável para o chassi, prevê-se o uso de uma estrutura tubular de aço carbono soldada, garantindo estabilidade e evitando o tombamento dentro da largura operacional de 1,30 m.

Guias de Translação Horizontal (Eixo X): O deslocamento ao longo dos 10 metros de corredor exige o abandono de sistemas em polímero. O projeto adota eixos lineares retificados de aço (diâmetro mínimo de 20 mm) com rolamentos abertos, montados sobre suportes de alumínio por toda a extensão da pista, ou a aplicação de trilhos prismáticos com patins de esferas recirculantes.

Sistemas de Transmissão:

Eixo X (Translação - 10 m): Para evitar a elasticidade inerente às correias dentadas convencionais em longas distâncias, a translação é realizada por um sistema de Cremalheira e Pinhão de aço (Módulo 1.5 ou 2.0) ou por Corrente de Rolos Industrial (padrão ASA 35 ou ASA 40).

Eixo Y (Elevação - 2 m): A elevação vertical utiliza um fuso de esferas recirculantes de passo largo (ex: 1610 ou 2010) ou um sistema de corrente de rolos dupla, garantindo força de içamento e mitigando o risco de queda livre da carga sob falha mecânica.

Eixo Z (Garfo Extrator): O mecanismo de extração é composto por braços telescópicos metálicos com guias de gaveta industrial, acionados por engrenagens ou minicorrentes.

2. Especificação Eletroeletrônica e Segurança

A motorização e o controle foram especificados para garantir o torque necessário e a segurança operacional irrestrita do equipamento:

Motorização do Eixo X: Utiliza-se 1 (um) Motor de Passo Nema 34 de malha fechada (Closed Loop / Easy Servo), com torque dimensionado entre 8.5 Nm e 12 Nm. A tecnologia de malha fechada conta com encoders integrados que corrigem em tempo real o posicionamento, impedindo a perda de passos e garantindo a parada exata do equipamento nas colunas de armazenamento correspondentes.

Motorização do Eixo Y: Emprega-se 1 (um) Motor de Passo Nema 34 de malha fechada (torque mínimo de 12 Nm), obrigatoriamente equipado com freio eletromagnético de 24V. O freio atua como um sistema fail-safe: em caso de desenergização, ele trava mecanicamente o eixo, impedindo que a plataforma e a carga de 30 kg desabem por ação da gravidade.

Acionamento e Controle: O sistema é alimentado por fontes industriais chaveadas de 48V ou 60V, com os motores controlados por drivers de potência de alta tensão (modelo DMA860H ou equivalentes), capazes de suportar até 7.2A por fase.

Sensoriamento: O limite de curso e o referenciamento (homing) são monitorados por sensores de proximidade indutivos de padrão industrial (M12 ou M18), escolhidos por sua imunidade a poeira, detritos e vibrações mecânicas em comparação com as chaves fim de curso tradicionais.

3. Análise de Viabilidade Econômica (Orçamento Estimado)

O emprego de componentes em escala semi-industrial resulta em um custo de implementação superior a protótipos de bancada. A tabela abaixo apresenta o levantamento orçamentário dos subsistemas do transelevador:

Categoria do Componente	Descrição Técnica Principal	Estimativa de Custo (R\$)
Estrutura Pesada	Perfis 40x80/80x80, chapas de aço e chassi	R\$ 1.200,00 a R\$ 1.800,00
Guias Lineares	Eixos apoiados (20 m no total) e patins	R\$ 1.800,00 a R\$ 2.600,00
Transmissão Industrial	Cremalheira/pinhão, fuso vertical e mancais	R\$ 900,00 a R\$ 1.600,00
Motorização e Tração	2x Nema 34 Closed Loop (1 c/ freio) + Nema 23 (Garfo)	R\$ 1.400,00 a R\$ 2.100,00
Eletrônica de Potência	Drivers industriais (DMA860H) e fonte de tensão	R\$ 700,00 a R\$ 1.200,00
Segurança e Sensores	Sensores indutivos, botões de emergência e cabos	R\$ 300,00 a R\$ 500,00
Mecanismo de Extração	Guias telescópicas reforçadas ou braço articulado	R\$ 400,00 a R\$ 800,00
Estimativa Total	Investimento em Hardware e Mecânica	R\$ 6.700,00 a R\$ 10.600,00

Tabela 2: orçamento do transelevador.

1.3.5 VIABILIDADE TÉCNICA

A implementação do transelevador automatizado (Projeto HF-006) apresenta alta viabilidade técnica, fundamentada na maturidade das tecnologias empregadas, na adequação do dimensionamento físico e na ampla disponibilidade comercial dos componentes especificados. O projeto propõe uma transição segura entre o conceito de protótipo de bancada e uma aplicação em escala semi-industrial, assegurando que os desafios mecânicos e eletrônicos sejam superados com métodos de engenharia consolidados.

A exequibilidade do sistema sustenta-se nos seguintes pilares estruturais e operacionais:

Disponibilidade de Componentes (COTS - Commercial Off-The-Shelf): O projeto prescinde de peças de fabricação exclusiva ou tecnologias experimentais. Elementos críticos — como os motores de passo Nema 34 em malha fechada (Closed Loop), drivers de potência DMA860H, fusos de esferas recirculantes, cremalheiras de aço e perfis de alumínio estrutural — são padronizados e amplamente comercializados no setor de automação CNC e robótica. Esta padronização viabiliza a montagem, a facilidade de manutenção e a reposição contínua.

Adequação do Dimensionamento Físico e Mecânico: A especificação mecânica apresenta total coerência com as grandezas físicas inerentes à operação. A adoção de eixos lineares retificados de aço e sistemas de tração mecânica direta (cremalheira e pinhão para a translação de 10 metros; fuso de esferas ou corrente dupla para a elevação de 2 metros) mitiga os riscos de flambagem, torção e elasticidade. A estrutura base foi dimensionada para suportar a inércia gerada pela carga útil de 30 kg, garantindo estabilidade transversal e prevenindo o tombamento no corredor de 1,30 metro de largura.

Confiabilidade e Segurança Operacional (Fail-Safe): A arquitetura eletroeletrônica atende a rigorosos requisitos de confiabilidade. A utilização de motores de malha fechada elimina a perda de passos geométrica, conferindo precisão milimétrica ao longo da pista de movimentação. Ademais, a integração obrigatória de um freio eletromagnético de 24V no eixo vertical de elevação atua como medida de segurança primária, travando o sistema mecanicamente e prevenindo a queda livre da plataforma em cenários de desenergização acidental ou falha do driver.

Viabilidade de Manufatura e Integração: A construção do equipamento requer processos convencionais de usinagem e integração mecânica. O emprego de perfis de alumínio estrutural (40x80 mm ou 80x80 mm) com fixação por elementos de união simplifica a montagem da torre, dispensando soldagens complexas no chassi superior e permitindo ajustes finos de esquadro e nivelamento. Adicionalmente, o sensoramento por proximidade indutiva possui integração direta com os controladores lógicos, otimizando o desenvolvimento das lógicas de referenciamento de máquina (homing) e limitação de curso.

Conclusão: O rigor metodológico no redimensionamento dos subsistemas comprova que o Projeto HF-006 é plenamente exequível. A adoção de soluções consagradas na engenharia de automação atesta que a construção e a operação do transelevador são seguras, realistas e tecnicamente realizáveis dentro do escopo e dos prazos estabelecidos para a execução da pesquisa.

1.3.6 VIABILIDADE ECONÔMICA

A análise de viabilidade econômica do transelevador automatizado (Projeto HF-006) avalia a relação entre o custo de desenvolvimento do protótipo em escala semi-industrial e os benefícios financeiros e operacionais gerados pela sua implementação. No cenário logístico atual, a automação de sistemas de armazenamento e recuperação (AS/RS) é frequentemente associada a altos investimentos iniciais, o que limita o acesso de pequenas e médias empresas a essas tecnologias.

A validação econômica do sistema fundamenta-se nos seguintes aspectos críticos:

Custo de Desenvolvimento vs. Soluções Comerciais: O levantamento orçamentário detalhado para a construção do transelevador HF-006 estimou o investimento em hardware, eletrônica de potência e componentes mecânicos industriais em uma faixa entre R\$ 6.700,00 e R\$ 10.600,00. Quando comparado ao custo de aquisição de um transelevador comercial de pequeno a médio porte disponível no mercado — cujos valores facilmente ultrapassam a marca de dezenas de milhares de reais devido a margens de lucro corporativas, custos de importação e serviços de integração exclusivos —, o desenvolvimento deste projeto representa uma redução drástica no dispêndio de capital inicial (CAPEX).

Otimização de Espaço e Redução de Custos Operacionais (OPEX): Ao projetar o equipamento para operar em um corredor estreito de 1,30 metros de largura ao longo de um curso de 10 metros, o sistema maximiza a densidade de armazenamento vertical (até 2 metros de altura).

Economicamente, a eficiência na ocupação do solo (footprint) reduz a necessidade de expansão física de galpões logísticos, cujo custo por metro quadrado é elevado. Além disso, a automação do fluxo de movimentação de cargas de até 30 kg minimiza os custos com mão de obra direcionada a tarefas repetitivas e diminui drasticamente o índice de avarias em produtos por falha humana.

Uso de Componentes Padronizados e Baixo Custo de Manutenção: A opção técnica por componentes amplamente difundidos no mercado (Commercial Off-The-Shelf) impacta diretamente o ciclo de vida econômico do projeto. A reposição de itens como motores Nema 34, guias lineares e sensores indutivos não exige contratos de exclusividade com fornecedores internacionais. Isso reduz o tempo de máquina parada (downtime) e mantém os custos de manutenção preventiva e corretiva em patamares perfeitamente controláveis pela equipe técnica local.

Retorno sobre o Investimento (ROI): Embora o valor total estimado seja superior ao de um protótipo residencial ou acadêmico de bancada, o investimento justifica-se pelo ganho de produtividade, precisão no controle de inventário em tempo real e eliminação de gargalos operacionais. A amortização do capital investido ocorre no curto prazo, impulsionada pelo aumento da velocidade de atendimento de pedidos (picking) e pela eficiência energética garantida pelo acionamento controlado por drivers de alta performance.

Conclusão: Diante dos dados expostos, o Projeto HF-006 consolida sua viabilidade econômica. O orçamento final é compatível com os benefícios práticos de uma estrutura semi-industrial, provando que a engenharia de automação aplicada de forma estratégica permite democratizar o acesso a sistemas logísticos avançados, aliando alta robustez técnica a um custo financeiro perfeitamente viável e justificável.

1.3.7 RESULTADOS E CONCLUSÃO

O projeto do Transelevador HF-006 provou ser uma solução de automação robusta, escalável e altamente eficiente para os desafios de armazenamento enfrentados pela Automação¹⁰. Diante do problema inicial de desorganização, lentidão no despacho e riscos de segurança devido à expansão do volume de mercadorias, o protótipo desenvolvido ofereceu uma resposta tecnológica alinhada aos conceitos da Indústria 4.0.

A integração entre Mecatrônica, Sistemas Embarcados e Tecnologia da Informação (IoT) demonstrou que é possível desenvolver um equipamento logístico de alta performance utilizando componentes comerciais acessíveis (COTS), como o microcontrolador ESP32 e motores Nema 34. Essa escolha arquitetônica não apenas confirmou a viabilidade técnica da montagem semi-industrial, mas também atestou sua expressiva viabilidade econômica frente aos altos custos de aquisição de equipamentos proprietários no mercado atual.

Do ponto de vista operacional, a eliminação do esforço físico repetitivo do funcionário na busca por produtos, combinada com a precisão milimétrica do braço extrator e o controle nativo via dashboard web, transformou um ambiente analógico e suscetível a erros em um sistema dinâmico, seguro e de rápido retorno sobre o investimento.

Por fim, conclui-se que o Trabalho de Conclusão de Curso atingiu seu objetivo geral, entregando não apenas o dimensionamento físico e eletrônico de um transelevador de carga, mas consolidando uma cultura de modernização logística que pode ser replicada e escalada para outros setores industriais, promovendo produtividade, segurança e inovação tecnológica.

1.4 ANEXOS

Anexo I – BMG Canvas do Projeto.

Sem título *

