

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO

Daniel Pelisser Navarini

AUTOMAÇÃO DE COMPORTA ELÉTRICA DE  
DESCARREGAMENTO DE SILOS

Passo Fundo

2024

Daniel Pelisser Navarini

# AUTOMAÇÃO DE COMPORTA ELÉTRICA DE DESCARREMENTO DE SILOS

Trabalho apresentado ao curso de Engenharia Elétrica, do Instituto de Tecnologia, da Universidade de Passo Fundo, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Eletricista, sob orientação do professor Dr. Adriano Luís Toazza.

Passo Fundo

2024

Daniel Pelisser Navarini

**Automação de comporta elétrica de descarregamento de silos**

Trabalho apresentado ao curso de Engenharia Elétrica, do Instituto de Tecnologia, da Universidade de Passo Fundo, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Eletricista, sob orientação do professor Dr. Adriano Luís Toazza.

Aprovado em \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Adriano Luís Toazza - UPF

---

Prof. Me. Edson Santos Acco - UPF

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a todos os colegas de trabalho, professores, amigos e familiares que estiveram presentes nos momentos bons e ruins dessa caminhada, mas especialmente agradeço à minha mãe que sempre esteve muito presente em cada passo, ouvindo, dando conselhos, sendo um suporte, me motivando para nunca desistir e sempre correr atrás dos meus sonhos.

## RESUMO

A automação de comportas de descarregamento de silos tem por finalidade controlar o fluxo de grãos para o equipamento subsequente. Existem maneiras diferentes pelo qual essas comportas são fabricadas. Dentre as maneiras pode-se citar comportas manuais, pneumáticas, hidráulicas ou por meio de atuadores elétricos. Quando é desejado que o controle seja por meio de um atuador elétrico, acaba envolvendo vários riscos devido à sua ignição, pois silos apresentam tanto poeiras quanto gases explosivos. Sendo assim há a necessidade de que todos os equipamentos sigam determinadas normas para que seja evitada alguma explosão. Quando é efetuado o descarregamento de silos, controlar o fluxo de grãos é de extrema importância, no caso de comportas manuais, há a necessidade do operador entrar em um túnel abaixo do silo para efetuar o controle do fluxo de descarga do mesmo. Poder efetuar esse controle sem precisar ir até o túnel abaixo do silo auxilia e facilita muito o trabalho do operador. O projeto visa facilitar a abertura e fechamento de uma comporta de descarregamento de silos utilizando uma IHM com uma placa microcontrolada e sensores de distância, fazendo com que o operador consiga executar o seu trabalho de uma forma mais acessível e simples.

Palavras-Chave: normas; comporta de descarregamento de silos graneleiros; gases explosivos; poeiras explosivas.

## **ABSTRACT**

The purpose of automating silo unloading gates is to control the flow of grain to subsequent equipment. There are different ways in which these gates are manufactured. These methods include manual, pneumatic, hydraulic or electric actuator gates. When control is required by means of an electric actuator, there are several risks due to ignition, since silos contain both explosive dust and gases. Therefore, all equipment must follow certain standards to prevent explosions. When silos are unloaded, controlling the flow of grain is extremely important. In the case of manual gates, the operator must enter a tunnel below the silo to control the discharge flow. Being able to perform this control without having to go to the tunnel below the silo greatly helps and makes the operator's work easier. The project aims to facilitate the opening and closing of a silo unloading gate using an HMI with a microcontroller board and distance sensors, allowing the operator to perform his work in a more accessible and simple way.

**Keywords:** standards; bulk silo unloading gate; explosive gases; explosive dust.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Maiores produtores de soja de 2022	15
Figura 2 – Projeção do aumento da produção de grãos no Brasil	16
Figura 3 – Fluxograma básico de uma unidade armazenadora à granel	17
Figura 4 – Silo de Fundo Plano	18
Figura 5 – Silo de Expedição	18
Figura 6 – Furo na base do silo para efetuar o descarregamento	19
Figura 7 – Comporta manual de descarregamento do silo modelo a	19
Figura 8 – Comporta manual de descarregamento do silo modelo b	20
Figura 9 – Comporta deslizante de descarregamento do silo	20
Quadro 1 – Densidade dos gases	21
Quadro 2 – Temperatura de Autoignição	22
Figura 10 – Triângulo do Fogo	23
Quadro 3 – Classificação de ambientes	24
Quadro 4 – Classificação de grupos em gases	24
Quadro 5 – Classificação de grupos em poeiras	24
Quadro 6 – Classificação em zonas para gases explosivos e poeiras combustíveis	25
Quadro 7 – Classe de temperatura	25
Quadro 8 – Relação tradicional de EPL, Zonas e Nível de Proteção	26
Quadro 9 – Tipos de proteção e suas relações	28
Figura 11 – Índices de Proteção	29
Figura 12 – Marcação ATEX (Europeia)	30
Figura 13 – Marcação IECEx (Global)	31
Figura 14 – Vista isométrica superior da estrutura mecânica	32
Figura 15 – Vista isométrica inferior da estrutura mecânica	33
Figura 16 – Vista superior da estrutura mecânica	33
Figura 17 – Comporta sem o bocal superior	34
Figura 18 – Comporta com o bocal superior	34
Figura 19 – Comporta com as dimensões	35
Figura 20 – Quadro de comando da comporta	36
Figura 21 – Comporta instalada	36
Figura 22 – Diagrama geral do hardware	37

Figura 23 – Fonte de alimentação	37
Figura 24 – Display 128x64	38
Figura 25 – Atuador LA36	38
Figura 26 – Esquemático MAX232	39
Figura 27 – Esquemático Ponte H	39
Figura 28 – Circuito de selo	40
Figura 29 – Circuito PIC18F47Q84	40
Figura 30 – Circuito completo da IHM	41
Figura 31 – Projeto da placa da IHM em 3D	42
Figura 32 – Sensor de distância LIDAR07	42
Figura 33 – Esquemático da placa para o sensor de distância	43
Figura 34 – Projeto da placa para o sensor em 3D	43
Figura 35 – Fluxograma do firmware	45
Figura 36 – Placa no case da IHM	46
Figura 37 – IHM	47
Figura 38 – Placa para o sensor de distância	47
Figura 39 – Comporta para testes visão superior	48
Figura 40 – Comporta para testes visão inferior	49
Figura 41 – Frame tempo inicial	50
Figura 42 – Menu de calibração	50

## LISTA DE SIGLAS

IHM – Interface Homem Máquina

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ANAC – Agência Nacional de Aviação Civil

UFFRJ – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

LIE – Limite Inferior de Explosividade

LSE – Limite Superior de Explosividade

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

EPL – *Equipment Protection Level* (Nível de Proteção do Equipamento)

IP – Índice de Proteção

NBR – Norma Técnica Brasileira

IEC – International Electrotechnical Commission

ATEX - Appareils destinés à être utilisés en Atmosphere Explosive

EEPROM - *Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory* (Memória Programável de Somente Leitura Apagável Eletricamente)

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
1.1 OBJETIVO GERAL.....	13
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	13
1.3 JUSTIFICATIVA .....	13
<b>2 REVISÃO DA LITERATURA .....</b>	<b>15</b>
2.1 PRODUÇÃO DE GRÃOS NO BRASIL .....	15
<b>2.1.1 Unidade Armazenadora .....</b>	<b>16</b>
<b>2.1.2 Silos Armazenadores .....</b>	<b>17</b>
<b>2.1.3 Comporta de Descarregamento.....</b>	<b>19</b>
2.2 PROPRIEDADES BÁSICAS DAS SUBSTÂNCIAS INFLAMÁVEIS .....	21
<b>2.2.1 Densidade .....</b>	<b>21</b>
<b>2.2.2 Temperatura de Autoignição.....</b>	<b>21</b>
<b>2.2.3 Faixa de Explosividade.....</b>	<b>22</b>
2.3 ATMOSFERAS EXPLOSIVAS .....	22
<b>2.3.1 Triângulo do Fogo .....</b>	<b>22</b>
2.4 ÁREAS CLASSIFICADAS .....	23
<b>2.4.1 Classificação de Ambientes.....</b>	<b>23</b>
<b>2.4.2 Classificação em grupos .....</b>	<b>24</b>
<b>2.4.3 Classificação em Zonas .....</b>	<b>24</b>
2.5 CLASSES DE TEMPERATURA .....	25
2.6 NÍVEL DE PROTEÇÃO DO EQUIPAMENTO .....	26
2.7 TIPOS DE PROTEÇÃO.....	26
2.8 ÍNDICE DE PROTEÇÃO (IP) .....	28
2.9 NORMAS .....	29
<b>3 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO.....</b>	<b>32</b>

3.1 ESTRUTURA MECÂNICA / PROTÓTIPO .....	32
3.2 HARDWARE .....	36
3.3 FIRMWARE.....	43
3.4 PLACA E CASE DA IHM.....	46
3.5 PLACA PARA O SENSOR DE DISTÂNCIA .....	47
<b>4 RESULTADOS .....</b>	<b>48</b>
4.1 PROTÓTIPO PARA TESTES DAS PLACAS .....	48
4.2 FIRMWARE.....	49
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>52</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>53</b>
<b>6 APÊNDICE A .....</b>	<b>57</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Segundo o Compre Rural (2023), a produção de grãos desempenha um papel crucial na segurança alimentar global, sendo um dos pilares fundamentais para sustentar a crescente demanda por alimentos em escala mundial.

De acordo com a SICON (2023), o armazenamento de grãos em silos e armazéns desempenha um papel crucial no agronegócio, permitindo o armazenamento seguro e eficiente dos produtos colhidos.

Segundo a Magguisan Máquinas (2023), as comportas de descarregamento são utilizadas nas saídas dos silos de armazenamento, para controle de fluxo de produto ou manutenção em máquinas abaixo dos silos.

### 1.1 OBJETIVO GERAL

O projeto visa construir um sistema de controle e monitoramento de abertura e fechamento de comportas deslizantes de descarregamento de silos armazenadores.

### 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Pesquisar sobre o ambiente a ser instalado;
- b) Pesquisar sobre as variáveis que envolvem o projeto para torna-lo genérico;
- c) Desenvolver uma estrutura mecânica para a execução do projeto;
- d) Projetar uma IHM microcontrolada de controle e monitoramento da abertura e fechamento da comporta;
- e) Apresentar formas seguras quanto à execução do projeto e suas particularidades;
- f) Construir um protótipo que traga facilidade e segurança para a operação da comporta;
- g) Realizar testes para validar o projeto.

### 1.3 JUSTIFICATIVA

Para chegar até as comportas de descarregamento, é necessário que o operador se desloque pela parte externa do silo para acessar a entrada do túnel. A automação da comporta

de descarregamento irá trazer o benefício de que o operador não precise efetuar esse deslocamento e possa controlar de forma precisa a abertura e fechamento da comporta de um local mais adequado e mais acessível. Em unidades armazenadoras há a presença de gases e poeiras prejudiciais à saúde dos trabalhadores, principalmente nos corredores na parte inferior do silo onde são efetuadas as operações em comportas de descarregamento de silo.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

No presente capítulo serão abordados todos os temas pertinentes ao desenvolvimento do projeto, buscando obter todas as informações e entendimentos necessários para a execução do mesmo.

### 2.1 PRODUÇÃO DE GRÃOS NO BRASIL

De acordo com o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (2023), a produção de soja mundial foi de mais de 370 milhões de toneladas, sendo que o Brasil é país com a maior produção representando aproximadamente 42% da produção mundial, totalizando 156 milhões de toneladas. A Figura 1 mostra os 3 maiores produtores mundiais de soja de 2022 e seus 5 estados que mais produziram.

Figura 1 – Maiores produtores de Soja de 2022

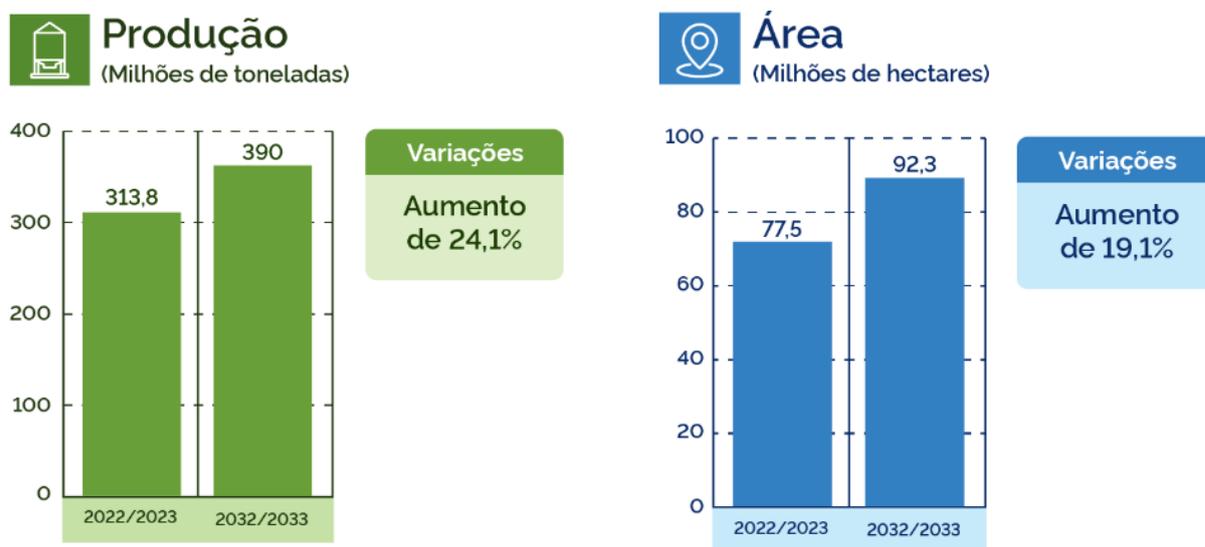
Classificação	País	Porcentagem da produção mundial (porcentagem)	Produção (1000 MT)	Mapa de Produção Agrícola
1	<b>Brasil</b> Mato Grosso 26% Paraná 15% Rio Grande do Sul 14% Goiás 10% Mato Grosso do Sul 8%	42	156.000	
2	<b>Estados Unidos</b> Iowa 14% Illinois 13% Minnesota 9% Nebraska 8% Indiana 7%	31	116.216	
3	<b>Argentina</b> Buenos Aires 31% Córdoba 28% Santa Fé 19% Santiago del Estero 8%	7	25.000	

Fonte: Adaptado de USDA (2023)

Segundo o Ministério da Agricultura e Pecuária (2023), a produção de grãos no Brasil deverá aumentar 24,1% nos próximos 10 anos, chegando perto dos 390 milhões de toneladas

na safra de 2032/2033, com acréscimo de 75,5 milhões de toneladas. Esse acréscimo corresponde a uma taxa de crescimento de 2,4% ao ano. Como mostrado na Figura 2, pode-se visualizar melhor as projeções, tanto de produção de grãos quanto de área de plantio.

Figura 2 – Projeção do aumento da produção de grãos no Brasil



Fonte: Adaptado de Ministério da Agricultura e Pecuária (2023)

De acordo com o FieldView (2023) a armazenagem de grãos é a técnica que consiste em preservar os grãos produzidos com o objetivo de proteger as suas características desde a colheita até a distribuição. Esse processo requer higienização, secagem, procedimento de defensivos agrícolas, carregamento, distribuição, etc.

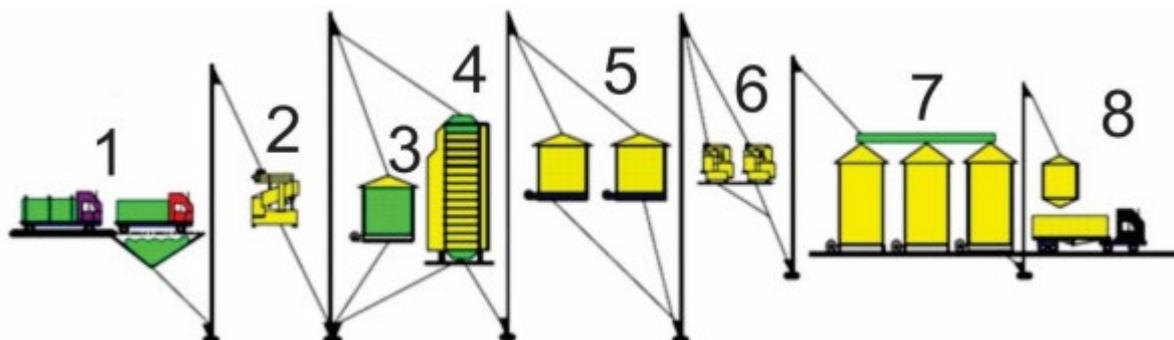
Segundo a agência de notícias do IBGE (2023), a capacidade de armazenagem agrícola cresceu 1,8% e chegou a 192,2 milhões de toneladas no segundo semestre de 2022. Sendo o Rio Grande do Sul com o maior número de estabelecimentos de armazenagem (2.178), e o Mato Grosso possui a maior capacidade, 47,5 milhões de toneladas. O estoque de produtos agrícolas chegou a totalizar 39,4 milhões de toneladas.

### 2.1.1 Unidade Armazenadora

De acordo com Field View (2023), alguns produtores optam por guardar parte da produção e comercializá-la no futuro, visando fazer negócios a um preço mais atrativo. Sendo assim, o produtor pode optar por ter uma unidade armazenadora de grãos em sua propriedade ou destinar o armazenamento a uma cooperativa de grãos.

Em uma unidade armazenadora de grãos são necessários alguns processos antes de sua armazenagem. Existe um fluxograma pelo qual o grão precisa passar antes de ser armazenado. Esse fluxograma consiste em pesagem, limpeza, espera, secagem, armazenamento e, finalmente, a expedição. A Figura 3 mostra de forma simplificada o fluxograma.

Figura 3 – Fluxograma básico de uma unidade armazenadora a granel



Fonte: Adaptado de Morais (2019)

As estruturas representadas na Figura 3 são:

- 1 – Moega;
- 2 – Máquina de pré-limpeza;
- 3 – Silo-Pulmão;
- 4 – Secador;
- 5 – Silo de seca-aeração;
- 6 – Máquinas de limpeza;
- 7 – Setor de armazenagem;
- 8 – Expedição.

### 2.1.2 Silos Armazenadores

Existem vários tipos de silos armazenadores, tais como, os silos verticais, silos horizontais, silos bolsa, silos de concreto, silo de expedição, silo pulmão, entre outros. No Rio Grande do Sul os silos mais utilizados para a armazenagem de grãos são os silos verticais no formato cilíndrico. Esse tipo de silo é ideal para a armazenagem de milho, trigo e soja, grãos na qual se destacam em sua produção no estado. A Figura 4 mostra como são os silos armazenadores verticais.

Figura 4 – Silo de Fundo Plano



Fonte: Kepler Weber (2023)

O silo de expedição que é utilizado para efetuar o carregamento dos caminhões, é uma situação onde a automação das comportas de descarregamento é de extrema importância. As unidades armazenadoras têm por muitas vezes seu funcionamento em períodos noturnos e, como mostrado na Figura 5, há a necessidade do operador subir escadas para abrir a comporta de descarregamento. Nessa situação, a automação da comporta de descarregamento evitaria qualquer tipo de acidente que possa ocorrer.

Figura 5 – Silo de Expedição



Fonte: TECSOL (2023)

### 2.1.3 Comporta de Descarregamento

A maneira pelo qual os silos armazenadores são descarregados é através de furos feitos na base do silo e no qual o fluxo de grãos é controlado por comportas. A Figura 6 ilustra como são esses furos e a Figura 7 mostra como é uma das comportas de descarregamento do silo armazenador.

Figura 6 – Furo na base do silo para efetuar o descarregamento



Fonte: O autor (2023)

Figura 7 – Comporta manual de descarregamento do silo modelo a



Fonte: O autor (2023)

Após algumas visitas efetuadas em unidades armazenadoras, foi possível observar que pode haver uma diferença muito grande entre cada silo, principalmente nas comportas de descarregamento. A Figura 8 mostra como são as comportas de descarregamento de outra unidade armazenadora, diferente daquela mostrada na Figura 7.

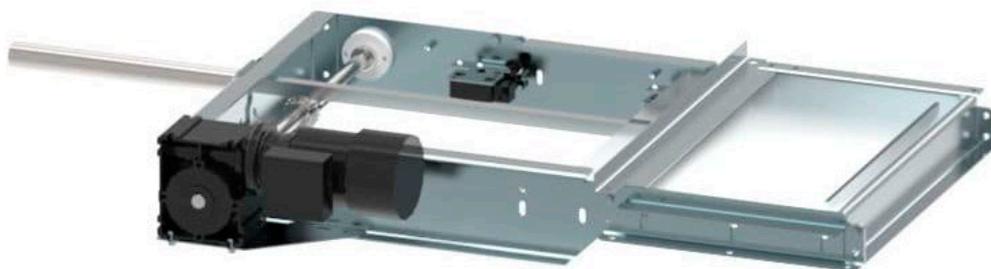
Figura 8 – Comporta manual de descarregamento do silo modelo b



Fonte: O autor (2023)

Existem dois tipos de comportas de descarregamento, a comporta borboleta e a comporta deslizante. Neste caso, será tratado apenas sobre a comporta deslizante, que será utilizada para a execução do projeto, mostrada na Figura 9.

Figura 9 – Comporta deslizante de descarregamento do silo



Fonte: AgriExpo (2023)

## 2.2 PROPRIEDADES BÁSICAS DAS SUBSTÂNCIAS INFLAMÁVEIS

Quando é efetuada uma análise para se aplicar instalações elétricas em ambientes potencialmente explosivos, há algumas características extremamente importantes as quais devem ser analisadas. Para a execução deste projeto pode-se citar como pontos importantes a densidade dessas substâncias, a temperatura de ignição e os limites de explosividade. Como a aplicação será efetuado em unidades armazenadoras onde não haverá a presença de líquidos inflamáveis.

### 2.2.1 Densidade

Segundo a ANAC (2023), Agência Nacional de Aviação Civil, a densidade do ar é de 1,2923g/cm<sup>3</sup>. Saber a densidade dos gases que serão trabalhados em ambientes explosivos é de extrema importância, pois tendo a densidade do ar como referência podem ser encontradas formas de efetuar a eliminação do mesmo e também estimar qual é o caminho que o gás estará percorrendo no ambiente, o local onde haverá uma concentração e o fluxo maior do mesmo.

Segundo a UFFRJ (2023) a decomposição dos grãos pode gerar vapores inflamáveis. Se a umidade do grão for superior a 20% acaba gerando gases como metanol, etanol ou butanol. De acordo com o Quadro 1 tem-se a densidade de cada um dos gases.

Quadro 1 – Densidade dos gases

<b>Substância</b>	<b>Densidade</b>
<b>Metano</b>	0,6
<b>Etano</b>	1
<b>n-Butano</b>	2

Fonte: Adaptado de Neto (2013)

### 2.2.2 Temperatura de Autoignição

Segundo a Tramontina (2023), a temperatura de autoignição é a temperatura mínima na qual um gás precisa para entrar em combustão mesmo sem a presença de uma fonte de ignição. O Quadro 2 mostra a temperatura de autoignição dos principais gases presentes em unidades armazenadoras.

Quadro 2 – Temperatura de autoignição

<b>Substância</b>	<b>Temperatura de Autoignição (°C)</b>
<b>Metano</b>	536
<b>Etano</b>	472
<b>n-Butano</b>	288

Fonte: Adaptado de Neto (2013)

### 2.2.3 Faixa de Explosividade

Segundo a Tramontina (2023), a faixa de explosividade é quando há a concentração de gases necessária para que aconteça uma explosão, sendo que ela é dividida em limite inferior de explosividade (LIE) e limite superior de explosividade (LSE). Quando a atmosfera presente possui um LIE, qualquer ignição ou fonte de calor, não é suficiente para que o gás entre em combustão. Já quando a atmosfera possui o LSE, a concentração de gases no ambiente é tão densa que não haverá a presença de oxigênio suficiente para que uma explosão aconteça.

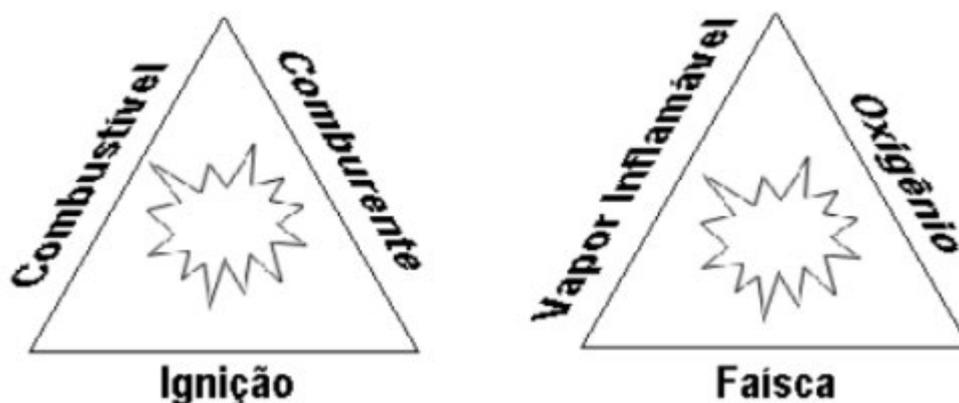
## 2.3 ATMOSFERAS EXPLOSIVAS

Segundo a NR 10 (2023), atmosfera explosiva é a mistura com o ar, sob condições atmosféricas, de substâncias inflamáveis de forma de gás, vapor, névoa, poeira ou fibras, na qual após a ignição a combustão, se propaga.

### 2.3.1 Triângulo do Fogo

De acordo com a Tramontina (2023) para que se inicie uma explosão, são necessários três elementos fundamentais, no qual são indicados pelo triângulo do fogo, dentre esses elementos estão: combustível, comburente e o calor. A Figura 10 ilustra o triângulo do fogo.

Figura 10 – Triângulo do fogo.



Fonte: Treinar (2022).

## 2.4 ÁREAS CLASSIFICADAS

Segundo o INMETRO (2023), área classificada é uma área na qual uma atmosfera potencialmente explosiva estará presente ou na qual é provável sua ocorrência, a ponto de exigir precauções especiais para a construção, instalação e utilização de equipamentos (elétricos).

### 2.4.1 Classificação de Ambientes

Segundo NETO (2013), quando a classificação de ambientes é efetuada, há uma necessidade de primeiramente classificar qual tipo de ambientes pode ocorrer a presença de produtos inflamáveis. Sendo assim diferindo-se no estado físico da substância, podendo ela ser na forma de gases e vapores, poeira ou fibras. O Quadro 3 na página seguinte mostra a relação entre a classe de ambientes e o tipo de substância encontrada na atmosfera explosiva.

Quadro 3 – Classificação de ambientes.

<b>Classe de ambientes</b>	<b>Tipo de substância encontrada</b>
<b>I</b>	Gases e vapores.
<b>II</b>	Poeira
<b>III</b>	Fibra

Fonte: NETO (2013)

### 2.4.2 Classificação em grupos

Segundo NETO (2013), assim que definida a classificação do ambiente, há a divisão de grupos baseados na similaridade das substâncias. O Quadro 4 mostra a classificação de grupos para gases e o Quadro 5 a classificação de grupos para poeiras.

Quadro 4 – Classificação de grupos em gases

<b>Grupo</b>	<b>Gás de referência</b>
<b>I</b>	Metano
<b>IIA</b>	Propano
<b>IIB</b>	Etileno
<b>IIC</b>	Hidrogênio/acetileno

Fonte: Adaptado de PAMALATIC (2023).

Quadro 5 – Classificação de grupos em poeiras.

<b>Grupo</b>	<b>Tipo de poeiras</b>	<b>Tamanho</b>	<b>Resistividade</b>
<b>IIIA</b>	Partículas combustíveis suspensas	> 500 $\mu\text{m}$	-
<b>IIIB</b>	Partículas não condutoras	$\leq 500 \mu\text{m}$	$\leq 10^3 \Omega\text{m}$
<b>IIIC</b>	Poeiras condutoras	$\leq 500 \mu\text{m}$	$\leq 10^3 \Omega\text{m}$

Fonte: Adaptadode PAMALATIC (2023)

### 2.4.3 Classificação em Zonas

Os níveis de proteção dos equipamentos para as áreas classificadas são divididos entre zonas com a presença de poeiras explosivas e zonas com a presença de gases explosivos. Para quando há a presença de poeiras combustíveis são utilizadas as zonas 20, 21 e 22 e quando

possui a presença de gases ou vapores inflamáveis, são utilizadas as zonas 0, 1 e 2. O Quadro 6 mostra a classificação em zonas para gases explosivos e poeiras combustível.

Quadro 6 – Classificação em zonas para gases explosivos e poeiras combustível

<b>Zona</b>	<b>Descrição do Local</b>
<b>Zona 0/20</b>	Área na qual a atmosfera explosiva está presente continuamente, por longos períodos ou frequentemente.
<b>Zona 1/21</b>	Área na qual a atmosfera explosiva pode estar presente eventualmente, em condições normais de operação.
<b>Zona 2/22</b>	Área na qual não é provável que a atmosfera explosiva ocorra em operação normal e, se ocorrer, permanece somente por um curto período.

Fonte: Adaptado de Tramontina (2023)

## 2.5 CLASSES DE TEMPERATURA

Segundo a TRAMONTINA (2023) a temperatura máxima de superfície é a maior temperatura que a superfície do equipamento, ou de qualquer parte dele, poderá atingir em operação normal ou em condições de falha. A classe de temperatura do equipamento deve ser menor do que a temperatura de ignição das substâncias inflamáveis.

Com base no Quadro 2, o gás com a menor temperatura de autoignição é o butano, então, como mostrado no Quadro 7 abaixo, pode-se notar que a classe de temperatura do ambiente pode ser T3, T4, T5 ou T6.

Quadro 7 – Classes de temperatura

<b>Classe de temperatura</b>	<b>Máxima temperatura da superfície (°C)</b>
<b>T1</b>	450
<b>T2</b>	300
<b>T3</b>	200
<b>T4</b>	135
<b>T5</b>	100
<b>T6</b>	85

Fonte: Neto (2013)

## 2.6 NÍVEL DE PROTEÇÃO DO EQUIPAMENTO

Segundo a ALPHA-EX (2023), o nível de proteção do equipamento, EPL, do inglês *Equipament Protection Level*, é definido pela ABNT NBR IEC 60079-0 que o nível de proteção é baseado em sua probabilidade de se tornar uma fonte de ignição e distinguindo as diferenças entre atmosfera explosiva de gás, atmosfera explosiva de poeira e atmosfera em minas.

Atentando-se apenas ao grupo II e III, gás e poeira respectivamente, é possível então determinar a relação de EPL e zonas como mostrado no Quadro 8. O primeiro termo do EPL identifica se é para Gás ou Poeira, sendo G para gás e D para poeira. Já o segundo termo identifica o nível de proteção, sendo a para muito alto, b para alto e c para moderado.

Quadro 8 – Relação tradicional de EPL, Zonas e Nível de Proteção

<b>EPL</b>	<b>Zona</b>	<b>Nível de Proteção</b>
<b>Ga</b>	0	“muito alto”
<b>Gb</b>	1	“alto”
<b>Gc</b>	2	“moderado”
<b>Da</b>	20	“muito alto”
<b>Db</b>	21	“alto”
<b>Dc</b>	22	“moderado”

Fonte: Adaptado de ALPHA-EX (2023)

## 2.7 TIPOS DE PROTEÇÃO

Quando se trata de ambientes explosivos, há uma necessidade de que o equipamento possua alguma proteção em específica para que o equipamento esteja adequado para não causar nenhuma explosão provinda de uma faísca interna.

Segundo a Raclite (2024), o tipo de proteção d é uma proteção à prova de explosão, onde as partes que podem causar ignição são protegidas por um invólucro, sendo assim a explosão fica contida dentro do corpo do aparelho. O tipo de proteção e refere-se à uma segurança aumentada no qual o produto é incapaz de gerar ignição em condições normais de operação, tanto por centelha quanto arco ou temperatura. O tipo de proteção n refere-se à um produto incapaz de gerar ignição em condições normais de operação, por algum método

específico (não produz faísca, não permite entrada de gás etc.). O tipo de proteção i refere-se à segurança intrínseca, um produto incapaz de gerar energia suficiente para provocar ignição, em operação normal. O tipo de proteção o é referente à imersão em óleo onde as partes que podem causar ignição estão imersas em óleo, que atua como isolante. O tipo de proteção q é referente a imersão em areia, onde as partes que podem causar ignição estão imersas em areia, que atua como isolante. O tipo de proteção m refere-se a encapsulamento onde as partes que podem causar ignição estão imersas em resina isolante, de forma encapsulada. O tipo de proteção p, refere-se a um produto com pressão interna positiva, impedindo a entrada de mistura explosiva. E por fim o tipo de proteção s refere-se a um produto com método de prevenção que ainda não foi totalmente definido em norma. O Quadro 9 mostra os tipos de proteções e suas relações.

Quadro 9 – Tipos de proteção e suas relações

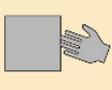
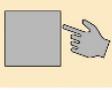
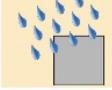
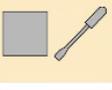
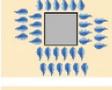
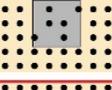
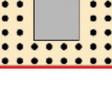
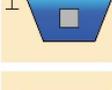
<b>Proteção</b>	<b>Tipos de Proteção</b>	<b>Classificação da Zona</b>	<b>EPL</b>	<b>Norma NBR IEC</b>
À Prova de Explosão	d	Zonas 1 e 2	Gb	60079-1
Segurança Aumentada	e	Zonas 1 e 2	Gb	60079-7
Não Centelhante	n	Zona 2	Gc	60079-15
Segurança Intrínseca	ia	Zona 0	Ga	60079-11
	ib	Zona 1	Gb	
	ic	Zona 2	Gc	
Imersão em Óleo	o	Zona 1 e 2	Gb	60079-6
Imersão em Areia	q	Zonas 1 e 2	Gb	60079-5
Encapsulamento	ma	Zona 0	Ga	60079-18
	mb	Zona 1	Gb	
	mc	Zona 2	Gc	
Pressurizado	px, py	Zona 1	Gb	60079-2
	pz	Zona 2	Gc	
Especial	s	Zona 0	Ga	60079-33
		Zona 1	Gb	
		Zona 2	Gc	

Fonte: Adaptado de Tramontina (2023)

## 2.8 ÍNDICE DE PROTEÇÃO (IP)

O IP é o símbolo utilizado para esclarecer sobre o nível de segurança oferecido por um dispositivo em relação a fatores externos, como umidade e poeira. A Figura 11 mostra os índices de proteção.

Figura 11 – Índices de Proteção.

TABELA DE GRAU DE PROTEÇÃO IP					
Proteção contra sólidos			Proteção contra líquidos		
1º Numeral	Proteção		2º Numeral	Proteção	
0		Não protegido	0		Não protegido
1		Protegido contra objetos sólidos maiores de 50mm ou mais	1		Protegido contra quedas verticais de gotas d'água
2		Protegido contra objetos sólidos maiores de 10mm	2		Protegido contra quedas de gotas d'água para inclinação de 15°
3		Protegido contra objetos sólidos maiores de 2,5mm	3		Protegido contra borrifamento de gotas d'água para inclinação de +/-60°
4		Protegido contra objetos sólidos maiores de 1mm	4		Protegido contra projeção de gotas d'água de todas as direções
5		Protegido contra poeira. Possibilidade de entrada de poeira	5		Protegido contra projeção de jatos d'água
6		Totalmente protegido contra poeira, sem possibilidade de entrada	6		Protegido contra projeção de jatos d'água potentes
			7		Protegido contra imersão temporária em água de até 1 metro por 30 minutos
			8		Protegido contra imersão contínua em água de até 3 metro
			9K		Protegido contra projeção de jatos d'água de vapor e alta pressão e temperatura

**Exemplo**  
**IP 6 9K**

Fonte: ALPHA INSTRUMENTOS(2023)

## 2.9 NORMAS

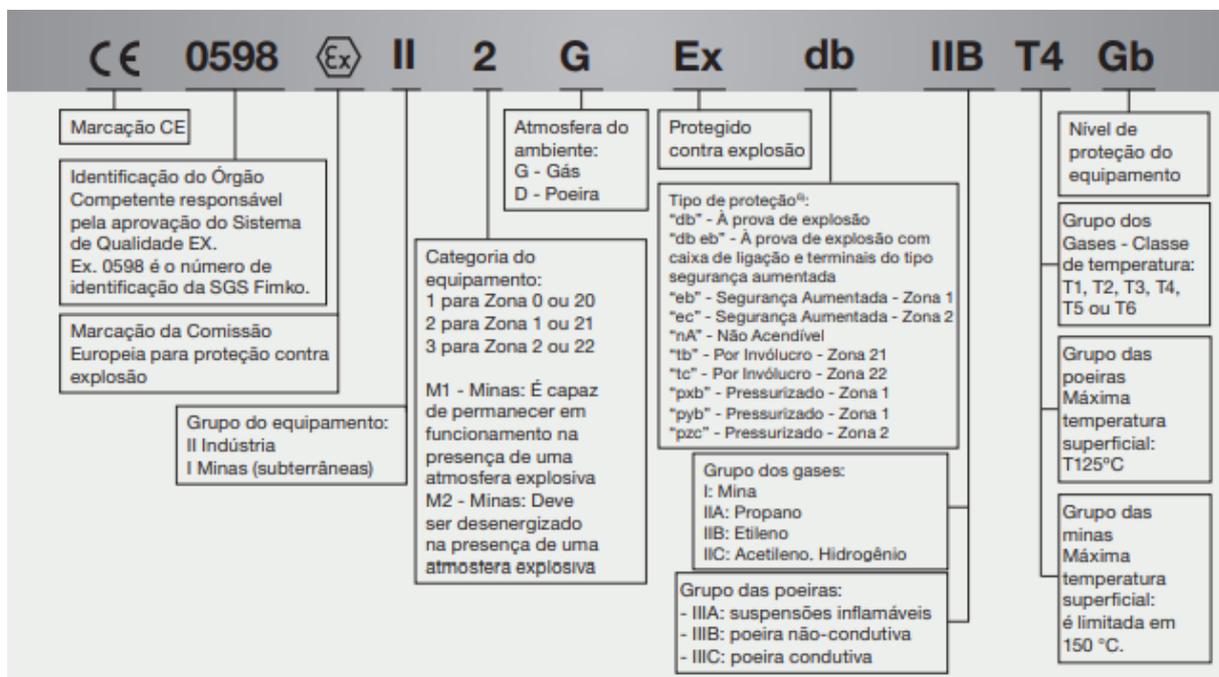
As principais normas no mercado para aplicações em atmosferas explosivas são a ATEX (Europeia), IECEx (Global) e a NEC/CEC (Norte-americana). No caso do Brasil para atmosferas explosivas a norma na qual se refere para atmosferas explosivas é a NBR IECEx.

O que se tem notado muito no Brasil é de que as normas brasileiras seguem o padrão

internacional, mas também o mercado está extremamente alinhado e aceito quanto as normas ATEX. Ao se efetuar pesquisas para a compra de componentes, nota-se que o padrão ATEX é o mais aceito e mais conhecido. Partindo desse pressuposto é considerado suficientemente estar de acordo com as normas NBR IECEx e a norma ATEX.

Quando se trata de atuadores lineares elétricos, a ATEX é a norma mais popular no mercado internacional. Muitas empresas que trabalham com atmosferas explosivas, principalmente em silos, que é o que se tem notado, é o suficiente quando os equipamentos possuem a certificação ATEX. A Figura 12 mostra como é a marcação dos equipamentos para a norma ATEX.

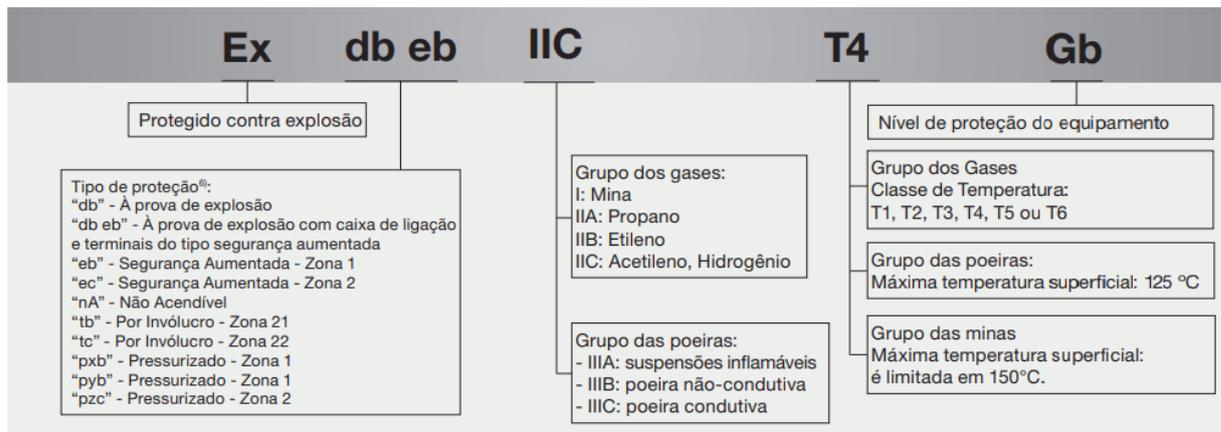
Figura 12 – Marcação ATEX (Europeia)



Fonte: Adaptado de WEG (2023)

No Brasil apesar de ser muito bem aceitas as normas ATEX pelo mercado, também há a norma brasileira NBR IECEx que segue o padrão internacional IECEx. A Figura 13 mostra o como é a marcação de equipamentos para essa norma.

Figura 13 – Marcação IECEx (Global)



Fonte: Adaptado de WEG (2023)

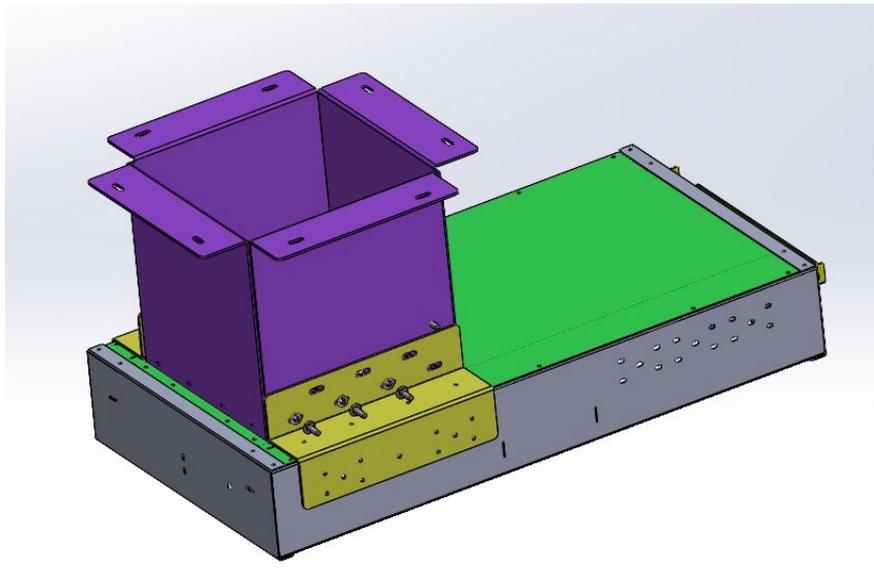
### 3 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

Neste capítulo será apresentada toda a estrutura e desenvolvimento do projeto, assim como estrutura mecânica, hardware e firmware.

#### 3.1 ESTRUTURA MECÂNICA / PROTÓTIPO

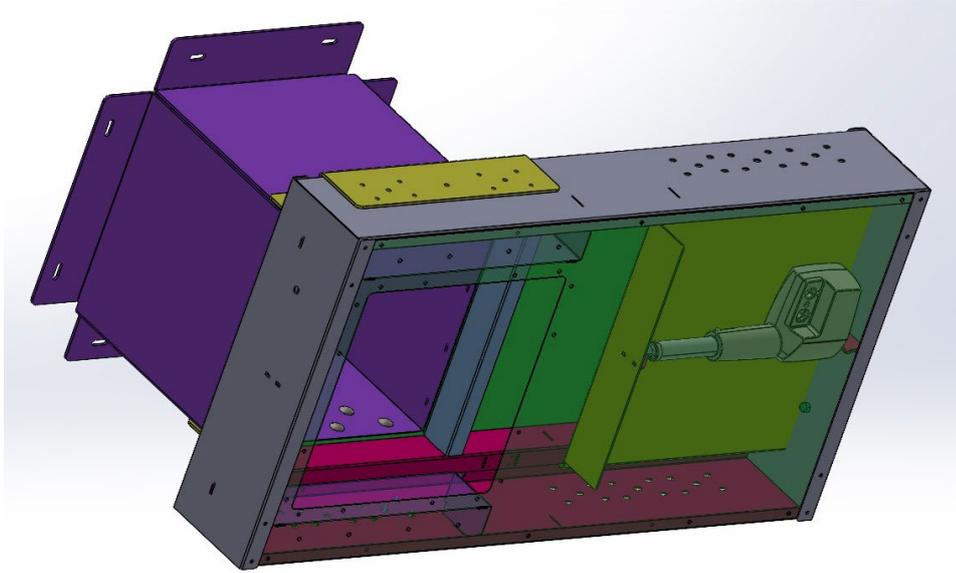
A estrutura mecânica será focada em tornar a instalação do equipamento da forma mais fácil e simples possível. Havendo uma estrutura na qual será encaixada no furo de descarregamento pela parte superior, e uma parte na qual será encaixada por baixo do silo.

Figura 14 – Vista isométrica superior da estrutura mecânica



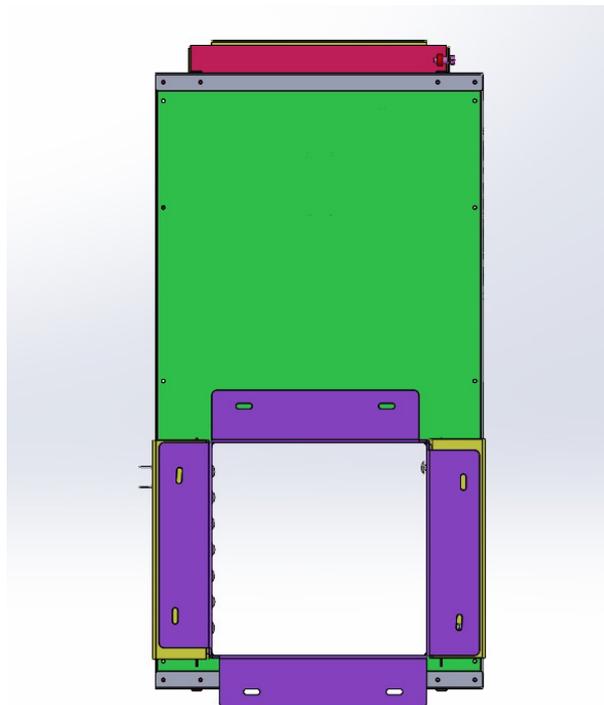
Fonte: Autor (2023)

Figura 15 – Vista isométrica inferior da estrutura mecânica



Fonte: Autor (2023)

Figura 16 – Vista superior da estrutura mecânica



Fonte: Autor (2023)

Após a conclusão do desenvolvimento da estrutura mecânica no SolidWorks, foram então realizados o corte a laser e a pintura da estrutura. A Figura 17, ilustra a comporta após o corte a laser, enquanto a Figura 18 mostra a comporta com o bocal superior adicionado.

Figura 17 – Comporta sem o bocal superior



Fonte: Autor (2025)

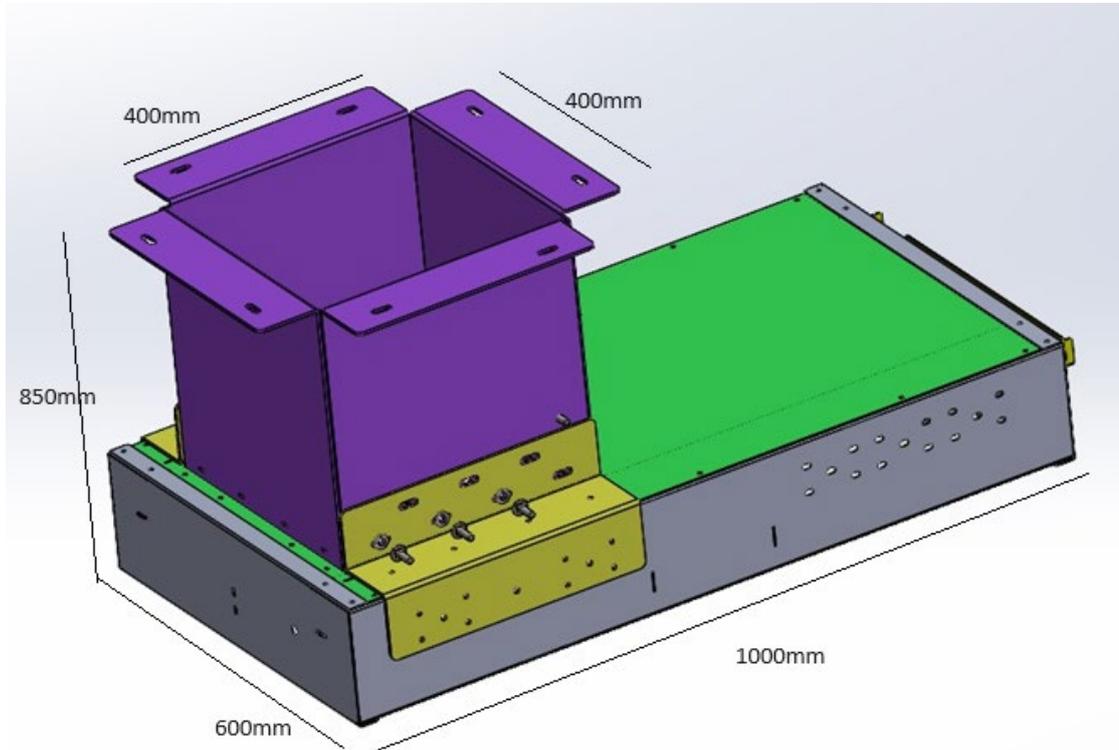
Figura 18 – Comporta com o bocal superior



Fonte: Autor (2024)

A Figura 19 mostra as dimensões da comporta a qual foi feita em aço inoxidável, cortada a laser e dobrada em uma fábrica especializada.

Figura 19 – Comporta com as dimensões



Fonte: Autor (2024)

Com a estrutura mecânica concluída, foi implementado um controle elétrico manual utilizando duas chaves de duas posições cada. Uma das chaves é responsável por fornecer energia elétrica para a comporta, enquanto a outra é responsável pela abertura e fechamento da comporta. A Figura 20 ilustra um quadro com a fonte de alimentação instalada internamente e as chaves supracitadas.

Figura 20 – Quadro de comando da comporta



Fonte: Autor (2025)

Posteriormente foi efetuada a instalação da comporta em um silo graneleiro, para serem efetuados os primeiros testes mecânicos e o funcionamento do atuador. A Figura 21, mostra a comporta já instalada na parte inferior do silo.

Figura 21 – Comporta instalada



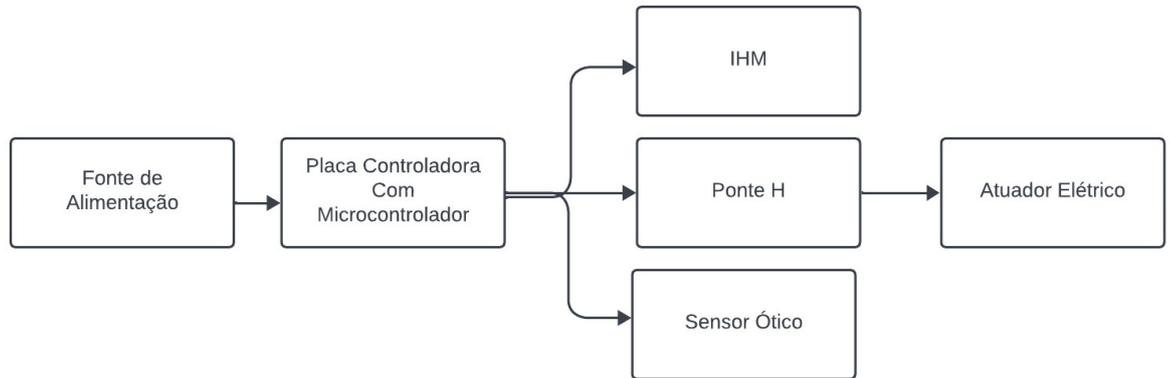
Fonte: Autor (2024)

### 3.2 HARDWARE

O hardware é composto por uma fonte de alimentação, uma IHM, uma placa controladora com microcontrolador, uma ponte H, um sensor de alimentação, um atuador

elétrico linear e chicotes de alimentação. A Figura 22 ilustra o diagrama de blocos geral do hardware.

Figura 22 – Diagrama geral do hardware



Fonte: Autor (2023)

Como mostrado na Figura 23, a fonte utilizada para este projeto será uma fonte blindada de metal com IP67 de 12V e 25A. Em relação a especificação IP67 foi necessário adquirir uma fonte blindada para evitar a entrada de umidade e poeira. Os 12V pois é a tensão do atuador escolhido. Os 25A pois o atuador possui picos de corrente de até 20A.

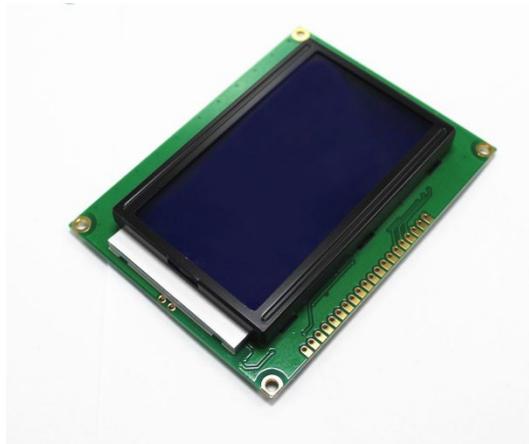
Figura 23 – Fonte de alimentação



Fonte: Autor (2023)

Será utilizado um display 128x64 para a IHM do projeto onde será mostrado a posição atual da comporta de descarregamento. A Figura 24, mostra o display que será utilizado para a IHM.

Figura 24 – Display 128x64



Fonte: Eletrolândia (2023)

O atuador utilizado para abrir e fechar a comporta, será utilizado o LA36, um atuador da LINAK com classificação ATEX para zona 22, possuindo um alcance de 100mm à 999mm, alimentação de 12V, impulso de 6800N e velocidade máxima de 160mm/s, o mesmo é mostrado na Figura 25.

Figura 25 – Atuador LA36

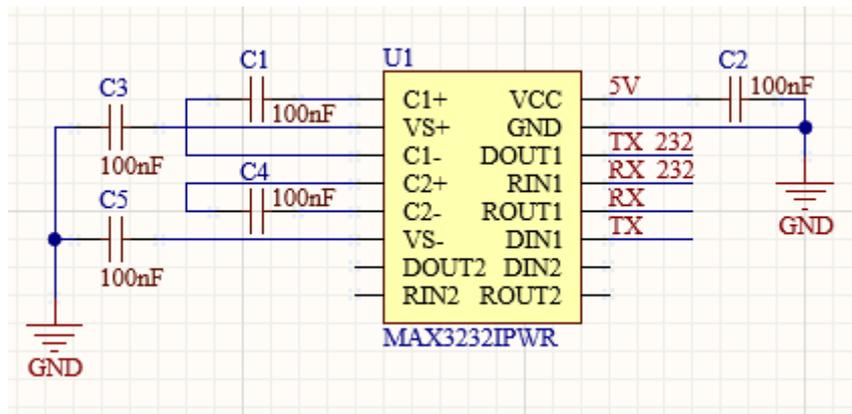


Fonte: LINAK (2023)

Além de um circuito de selo com reguladores de tensão e um microcontrolador, a placa da IHM pode ser dividida em dois principais circuitos que foram necessários para a execução do projeto. Sendo eles um circuito para comunicação entre a IHM e o sensor de distância e a ponte H.

Sabe-se que o sensor de distância LIDAR07 possui uma comunicação I2C e UART, que foi escolhida a comunicação UART para o projeto. Para o microcontrolador processar as informações e se comunicar com o sensor, foi utilizada a comunicação RS232, havendo então a necessidade de converter a comunicação UART para RS232 através de um MAX232. A figura 26 ilustra o esquemático de conexão MAX232.

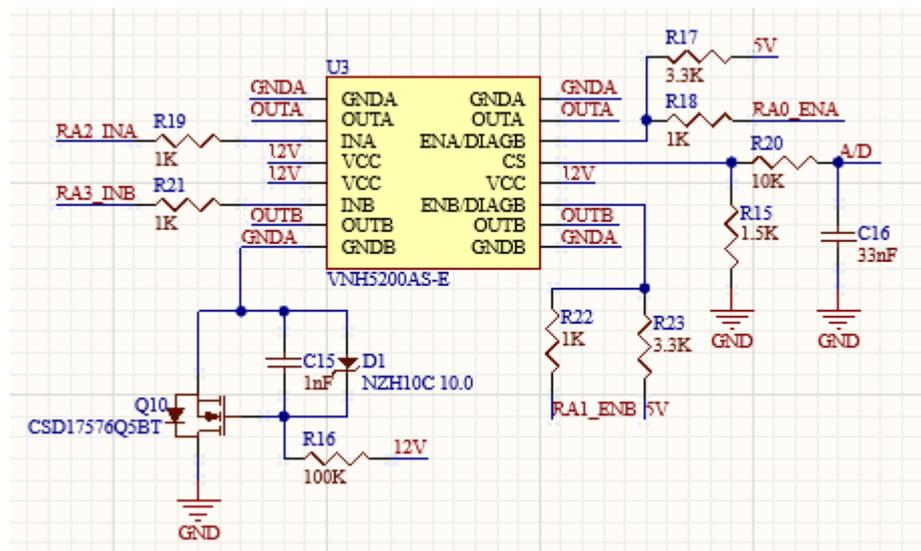
Figura 26 – Esquemático MAX232



Fonte: Autor (2024)

O atuador Linak, possui controle de abertura e fechamento recebendo uma alimentação de 12V e -12V, cada um para um determinado sentido. Para o controle de sentido do atuador, foi então escolhida uma ponte H com capacidade de 8 Ampéres nos pinos de saída. O esquemático da ponte H é mostrado abaixo na figura 27.

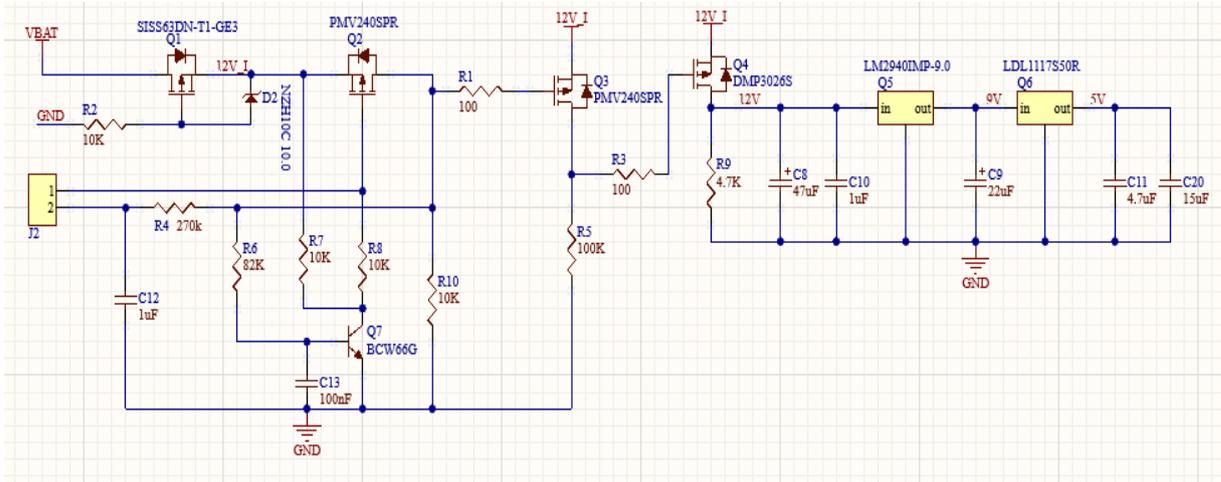
Figura 27 – Esquemático Ponte H



Fonte: Autor (2024)

A Figura 28 ilustra o circuito de selo utilizado para ligar e desligar a energia de todo o sistema da IHM, sendo assim, através do mesmo botão é executada ambas as funções.

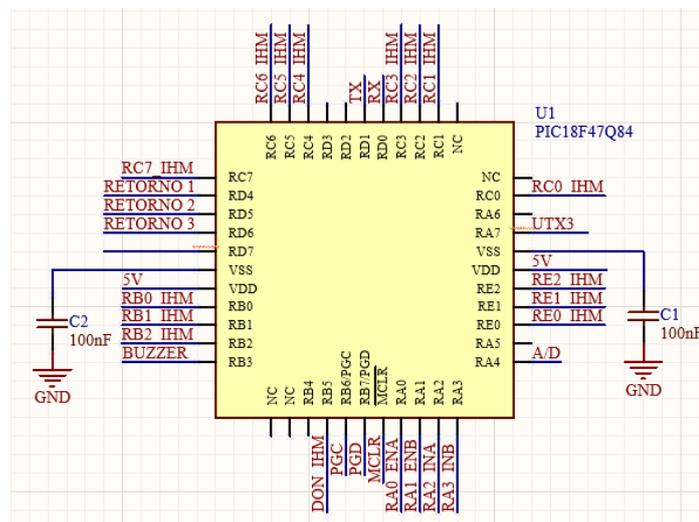
Figura 28 – Circuito de selo



Fonte: Autor (2024)

Para efetuar o microcontrolamento do sensor de distância, cálculo de informações, display, acionamento da ponte H entre outras funções necessárias, foi escolhido um microcontrolador no qual já estava disponível, sendo assim escolhido um PIC18F47Q84. O esquemático utilizado no microcontrolador é possível ver na Figura 29.

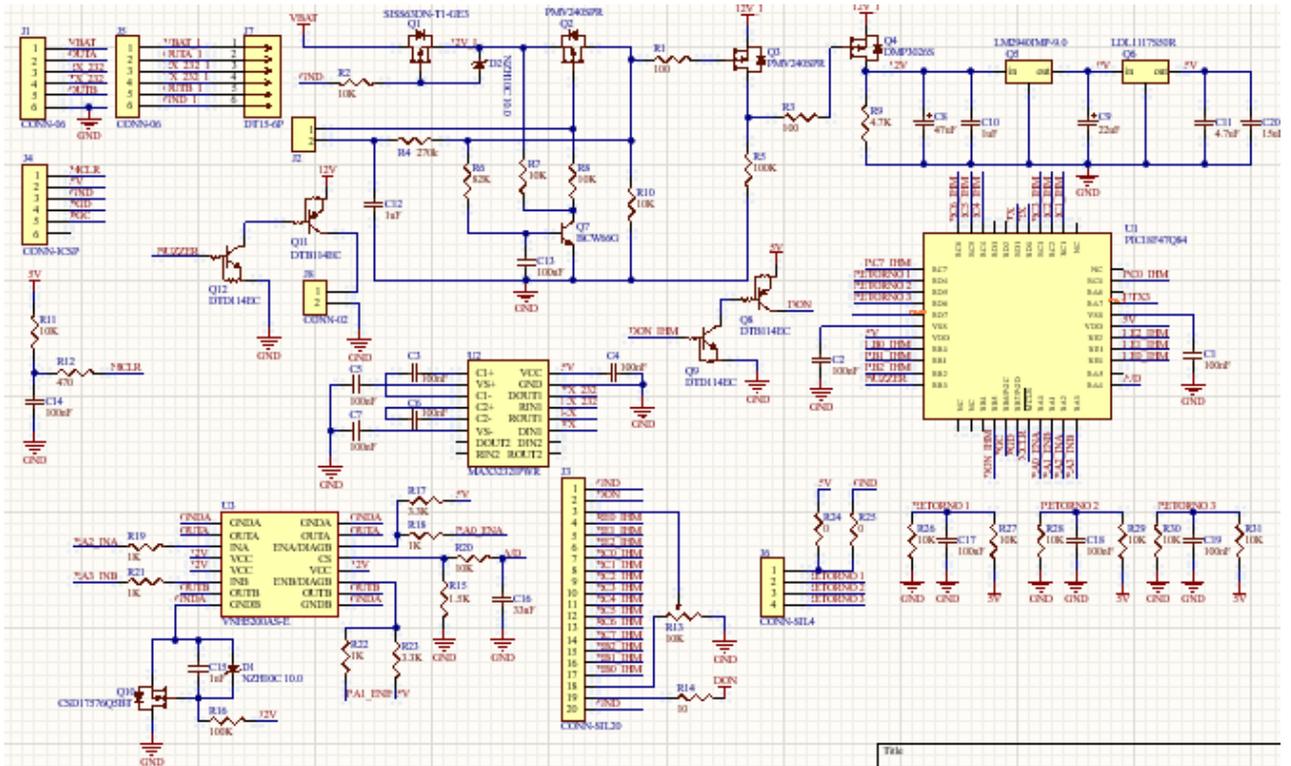
Figura 29 – Circuito PIC18F47Q84



Fonte: Autor (2024)

Somando os quatro circuitos citados acima com os circuitos de acionamento de buzzer utilizando dois transistores já polarizados, acionamento para ligar o display, capacitores e resistores responsáveis pelos botões da IHM, tem-se então o circuito completo da IHM que na qual é mostrado na Figura 30.

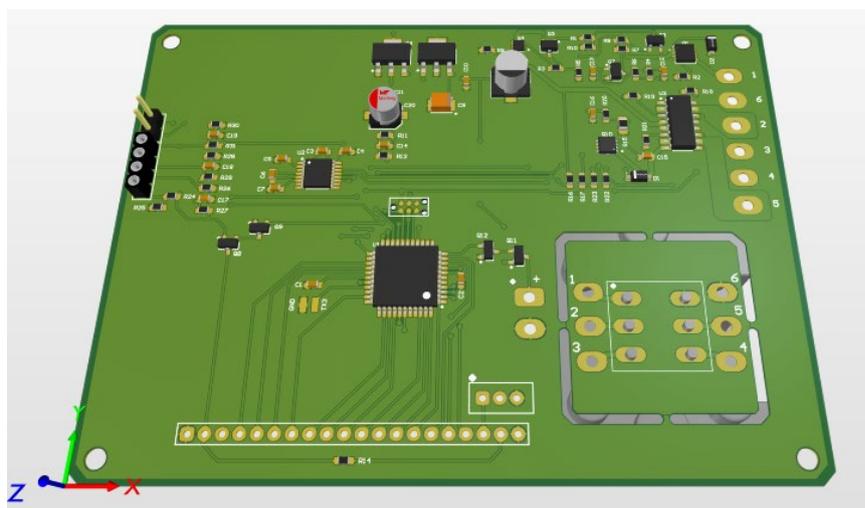
Figura 30 – Circuito completo da IHM



Fonte: Autor (2024)

A Figura 31, mostra o projeto, já em 3D, da IHM. Ressaltando que na placa também está projetada uma comunicação RS232, para comunicar com o sensor ótico, para obter a distância em tempo real, e assim, saber qual a abertura da comporta no exato momento, e a ponte H, responsável pela abertura e fechamento da comporta. A ponte h escolhida para o projeto foi a VNHS5200AS-E, com corrente saída de até 8A.

Figura 31 – Projeto da placa da IHM em 3D



Fonte: Autor (2024)

Para efetuar o controle de posição da comporta de descarregamento, será utilizado o sensor de distância LIDAR07 com comunicação I2C e UART, sendo escolhida a comunicação UART para o projeto. O sensor também possui alcance de 0.2m à 12m e alimentação de V. A Figura 32, mostra o sensor de distância.

Figura 32 – Sensor de distância LIDAR07

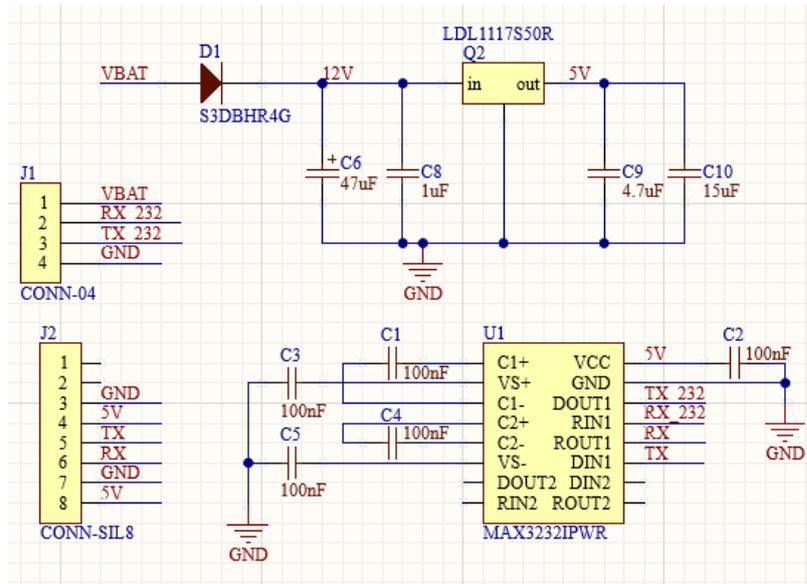


Fonte: Element14 (2024)

O sensor de distância LIDAR07 trabalha em uma tensão de 5V, sendo assim, houve a necessidade de ter uma placa específica para ele, alimentada com 12V diretamente da fonte de alimentação, contendo um regulador de tensão e também comunicação 232 para comunicar com a IHM. A Figura 33 mostra o esquemático da placa do sensor, contendo diodo para polarização invertida, capacitores de desacoplamento, regulador de tensão, pinos para

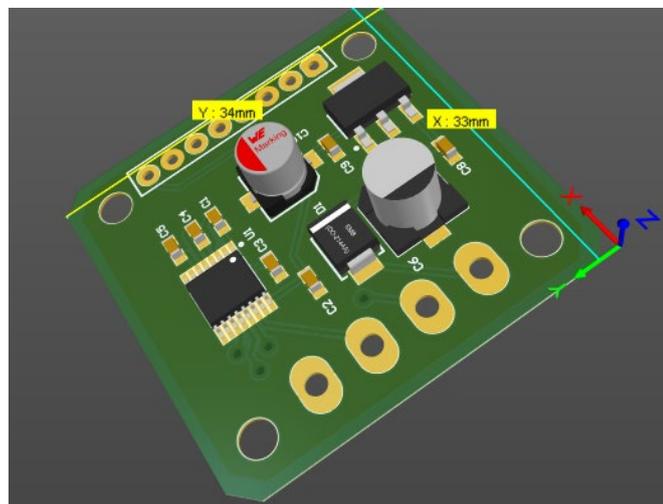
conexão física posteriormente e as ligações do MAX232, e a Figura 34 mostra o projeto da placa em 3D para o sensor.

Figura 33 – Esquemático da placa para o sensor de distância



Fonte: Autor (2024)

Figura 34 – Projeto da placa para o sensor em 3D



Fonte: Autor (2024)

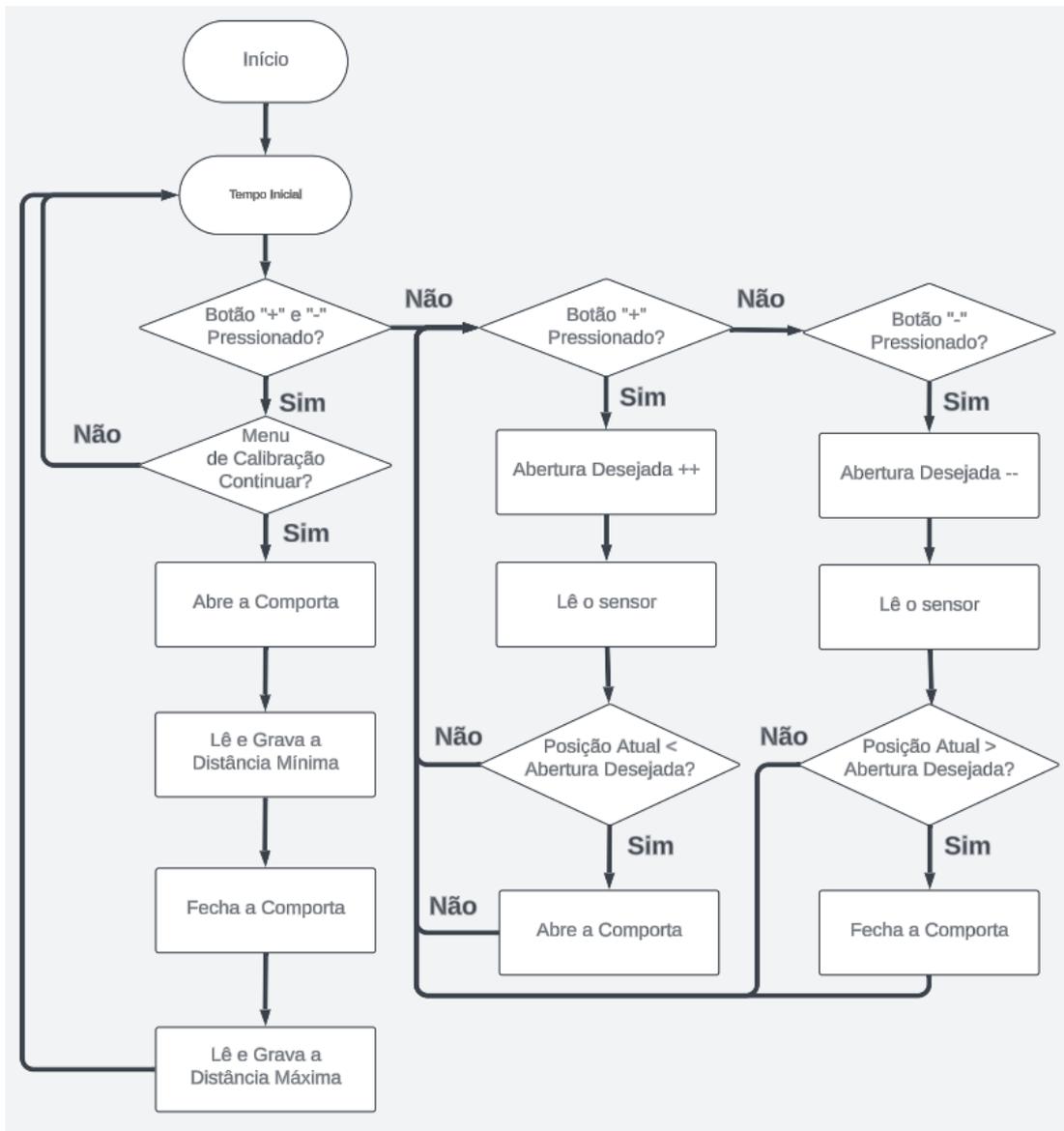
### 3.3 FIRMWARE

O firmware pode ser dividido em duas principais etapas, sendo elas, o menu de calibração e o menu de funcionamento. O menu de calibração ocorre após passar o tempo

inicial, caso ambos os botões ‘+’ e ‘-’ estejam pressionados, entrando em uma tela onde o firmware irá efetuar as leituras de posição mínima e máxima, para ter uma calibração mais precisa de cada comporta individualmente, pois o sensor ótico possui uma sensibilidade muito grande, ou seja, qualquer ângulo minimamente diferente na dobra da comporta, já resulta em uma posição, na escala milimétrica, diferente das demais comportas. E sendo assim, o mesmo firmware pode ser usado em comportas de diferentes tamanhos.

A segunda etapa do firmware ocorre após a tela inicial, no caso dos botões ‘+’ e ‘-’ não estarem pressionados. Nessa etapa ocorre a verificação se algum dos botões estão pressionados e posteriormente algum deles serem pressionados, ocorre o incremento ou decremento de uma variável chamada de “posição desejada” e posteriormente a leitura do sensor e comparação de “posição desejada” com “posição atual” para ser acionado o atuador na direção correta. A Figura 35 mostra o fluxograma do firmware. O firmware do utilizado para a execução do projeto, encontra-se no Apêndice A.

Figura 35 – Fluxograma do firmware

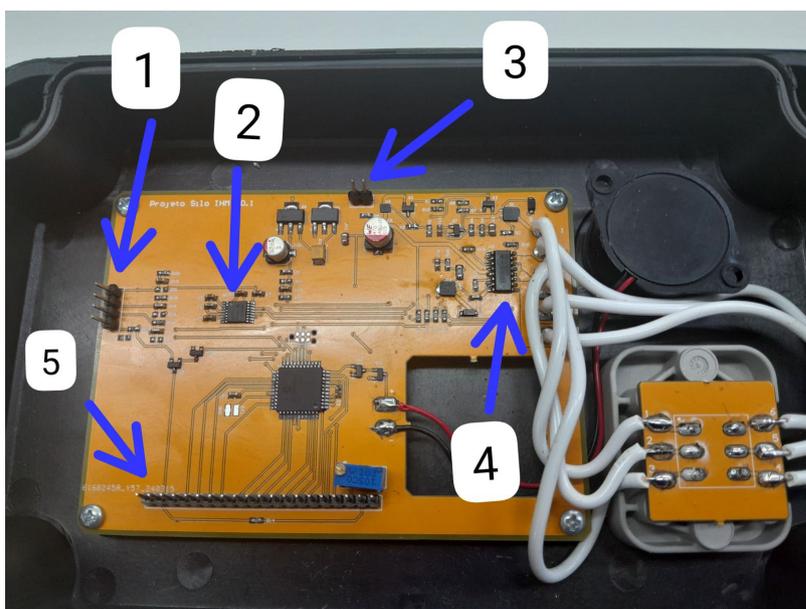


Fonte: Autor (2023)

### 3.4 PLACA E CASE DA IHM

Foi efetuada a fresagem e soldagem da placa e a mesma fixada no case da IHM. Destacando 5 partes principais, as mesmas identificadas de 1 a 5 na Figura 36, sendo a indicação de número 1, os pinos destinados para a membrana, possuindo uma saída de 5V e três retornos para os pinos do microcontrolador. A indicação de número 2 é o circuito destinado para a comunicação RS232 para envio e recebimento de informações com o sensor de distância. A indicação de número 3 é destinada para efetuar o ligamento e desligamento do circuito. A indicação de número 4 para a Ponte H e a indicação de número 5 para a conexão do display.

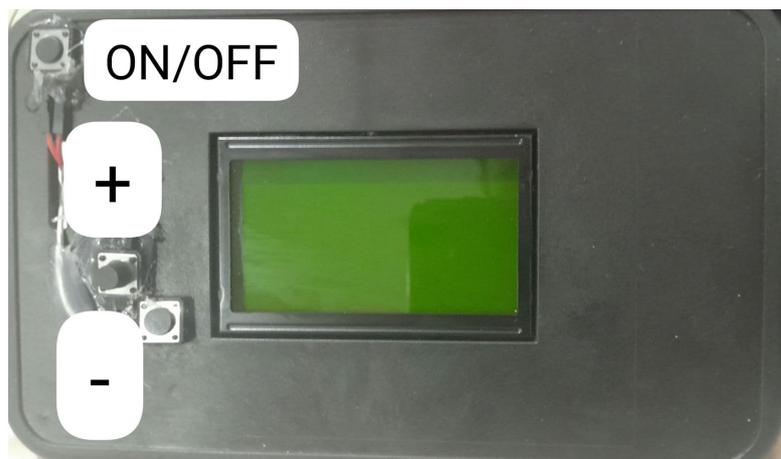
Figura 36 – Placa no case da IHM



Fonte: Autor (2024)

Para este protótipo optou-se por não desenvolver uma membrana. Em vez disso, foram utilizados push buttons apenas para fins de teste. A figura 37 mostra a IHM com o display e os 3 push buttons, sendo um deles para ligar e desligar o equipamento, um para incrementar a posição de abertura da comporta e, por fim, um último push button para decrementar.

Figura 37 – IHM



Fonte: Autor (2024)

### 3.5 PLACA PARA O SENSOR DE DISTÂNCIA

Como o conector DT-15 escolhido para a IHM possui apenas seis saídas, sendo elas duas destinadas para alimentação da IHM, duas para as saídas da ponte H para o atuador e duas para comunicação, então foi optado por realizar uma segunda placa apenas para sensor de distância. Onde, na placa vai ter conexão diretamente da bateria de alimentação, no qual é rebaixado para 5V, tensão na qual o sensor trabalha, e duas entradas destinadas para a comunicação RS232, onde é convertida para comunicação UART novamente através de um MAX232. Após isso tem-se duas saídas de 5V para o sensor, GND, RX e TX. A Figura 38 mostra a placa para o sensor de distância.

Figura 38 – Placa para o sensor de distância



Fonte: Autor (2024)

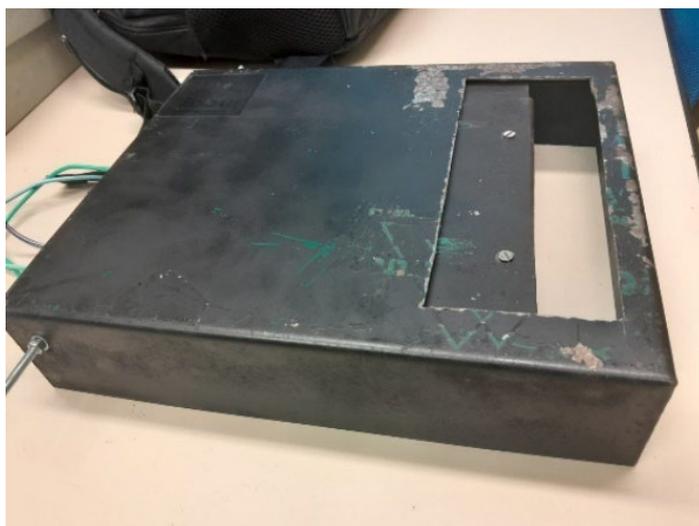
## 4 RESULTADOS

Neste capítulo, estão apresentados os resultados obtidos do desenvolvimento das partes deste trabalho, divididas em: placa e case da IHM, placa para o sensor de distância e protótipo para testes das placas e firmware.

### 4.1 PROTÓTIPO PARA TESTES DAS PLACAS

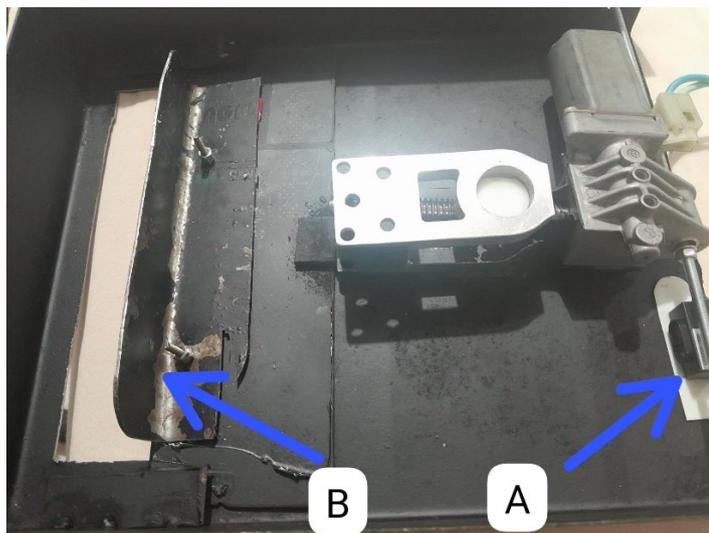
Como o protótipo mecânico já havia sido instalado no silo, foi necessário o desenvolvimento de um novo protótipo, mais simples, mas visando a mesma ideia. Ressalta-se também a necessidade de que quando a comporta estiver completamente aberta, o sensor de distância tem que estar a pelo menos a uma distância de 20cm, pois é a leitura mínima que o sensor faz. A Figura 39 mostra a visão superior da comporta utilizada para os testes das placas, e Figura 40 mostra a visão inferior destacando-se claro os pontos 'A' e 'B' já mencionados, para que quando a comporta esteja completamente aberta, a distância entre ambos seja de 20cm ou superior, respeitando o limite mínimo do sensor.

Figura 39 – Comporta para testes visão superior



Fonte: Autor (2024)

Figura 40 – Comporta para testes visão inferior



Fonte: Autor (2024)

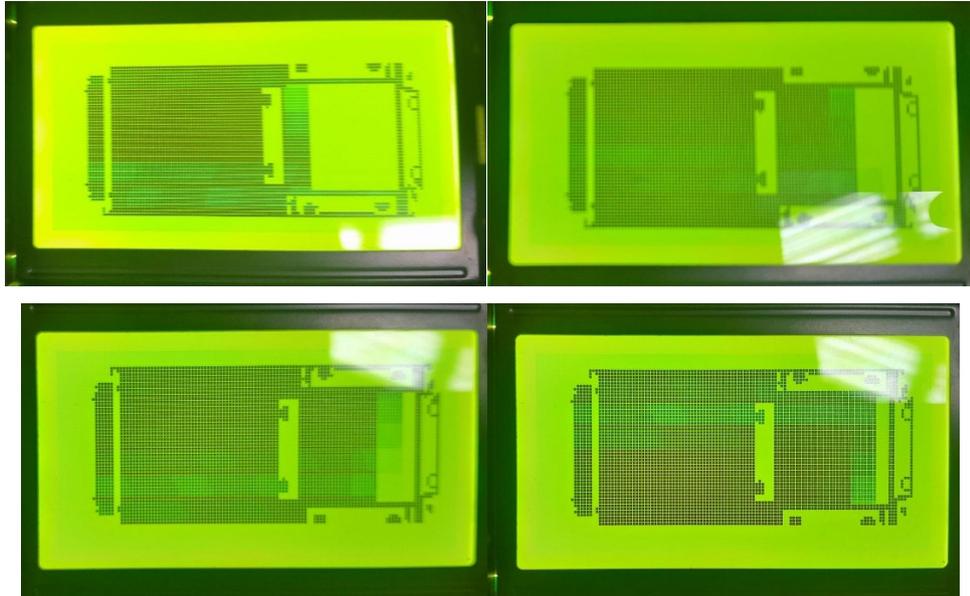
## 4.2 FIRMWARE

O atuador LINAK utilizado no primeiro protótipo, possui fim de curso próprio, já este atuador não, então foi necessário efetuar algumas mudanças de firmware para ser efetuado o teste.

A mudança necessária consiste, no momento de calibração, no recuo e no avanço do atuador, ser por meio de um determinado botão e o outro responsável pelo “ok”. No caso do atuador LINAK, o mesmo possui fim de curso próprio, então esse máximo e esse mínimo podem ser calculados por tempo de abertura e fechamento.

O tempo inicial é dividido em 11 frames da comporta fechando e abrindo, com duração entre três a seis segundos. A Figura 41 mostra um dos frames que acontece no tempo inicial.

Figura 41 – Frame tempo inicial



Fonte: Autor (2024)

Em caso de ser iniciado o menu de calibração, o usuário possui a opção de escolher entre prosseguir e cancelar, caso tenha entrado sem intensão no menu de calibração, pois para efetuar a calibração o silo deverá estar vazio para que a comporta possa abrir e fechar sem nenhuma consequência negativa de abrir em um momento indesejado com o silo cheio de grãos. A Figura 42 abaixo mostra o menu de calibração.

Figura 42 – Menu de calibração



Fonte: Autor (2024)

Posterior à calibração, as variáveis são gravadas na EEPROM do microcontrolador. Sendo assim, após ser reiniciado o monitor, o mesmo já estará sempre calibrado e pronto para uso.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No decorrer deste trabalho, foram realizadas fundamentações teóricas, trazendo tópicos relevantes ao desenvolvimento do projeto, dificuldades e insegurança nos temas referentes a invólucros e proteções quanto a ambientes explosivos.

Após conversa com especialista em comporta de descarregamento com atuadores elétricos foi chegado à conclusão de que não havia necessidade devido à frequência em que havia gases e por conclusão de que se fosse fácil assim ocorrer uma explosão, não poderia nem haver fornalha em um silo graneleiro.

Quanto à parte elétrica, os resultados foram satisfatórios, todo o sistema, incluindo o de comunicação utilizando MAX232, microcontrolador, ponte H e a leitura de informações enviadas pelo sensor LIDAR07 foram alcançados com sucesso e podendo então ser finalizado o projeto.

Com uma estrutura mais desenvolvida ainda poderia ser elaborado uma membrana para a IHM com uma interface mais clara e limpa para o usuário. Também podendo ser elaborados chicotes de ligação utilizando conectores Deutsch e tubos corrugados, para efetuar as ligações elétricas entre todas as partes, sendo assim possuindo um projeto que além de alcançar os objetivos desejados, estaria mais completo para comercialização.

## REFERÊNCIAS

USDA. **Soja 2022 Produção Mundial: 370.243 (100MT)**. Disponível em: <[https://ipad.fas.usda.gov/cropexplorer/cropview/commodityView.aspx?cropid=2222000&sel\\_year=2022&rankby=Production](https://ipad.fas.usda.gov/cropexplorer/cropview/commodityView.aspx?cropid=2222000&sel_year=2022&rankby=Production)>. Acessado em: 21 de Outubro de 2023, 15:58:21.

NBRTEC. **Fluxo de automação de Unidade**. Disponível em: <<http://www.nbrtec.com.br/site/ver.php?c=17#produtos>>. Acessado em: 21 de Outubro de 2023, 15:18:36.

GOV. **Produção de grãos deverá chegar a 390 milhões de toneladas nos próximos dez anos**. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/producao-de-graos-brasileira-devera-chegar-a-390-milhoes-de-toneladas-nos-proximos-dez-anos#:~:text=A%20produ%C3%A7%C3%A3o%20de%20gr%C3%A3os%20no,2%2C4%25%20ao%20ano.>>. Acessado em: 21 de Outubro de 2023, 15:11:53.

IBGE. **Capacidade de armazenagem agrícola cresce 1,8% e chega a 192,2 milhões de toneladas no segundo semestre de 2022**. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/37136-capacidade-de-armazenagem-agricola-cresce-1-8-e-chega-a-192-2-milhoes-de-toneladas-no-2-semester-de-2022>>. Acessado em: 21 de Outubro de 2023, 17:12:01.

BRASMAX. **4 tipos de silos para fazendas: saiba qual escolher**. Disponível em: <[https://www.brasmaxgenetica.com.br/noticias/4-tipos-de-silos-para-fazendas-saiba-qual-escolher/#:~:text=Silo%20de%20espera%20\(tamb%C3%A9m%20chamado,umidade%20desejada%20para%20o%20armazenamento.](https://www.brasmaxgenetica.com.br/noticias/4-tipos-de-silos-para-fazendas-saiba-qual-escolher/#:~:text=Silo%20de%20espera%20(tamb%C3%A9m%20chamado,umidade%20desejada%20para%20o%20armazenamento.)>. Acessado em: 21 de Outubro de 2023, 19:19:00.

FieldView. **Armazenagem de grãos: quais os cuidados operacionais da colheita?** Disponível em: <<https://blog.climatefieldview.com.br/armazenamento-dos-graos-quais-cuidados-sao-importantes-para-manter-o-resultado-da-safra>>. Acessado em: 21 de Outubro de 2023, 19:23:23.

MORAIS, T. **Prevenção de acidentes por explosões em silos de armazenamento de grãos**. Campos Mourão, PR: UFTPR, 2019. Monografia (trabalho de conclusão de curso).

NR, Norma Regulamentadora, Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 10: Segurança em instalações e serviços em eletricidade**, Brasília, 2004.

TREINAR – Treinamentos, Tecnologias e Soluções de Engenharia. **Área Classificada e Atmosferas Explosiva**. Disponível em: <<https://treinar.eng.br/wp-content/uploads/2022/11/Apostila-Areas-Classificadas-e-Atmosferas-Explosivas-com-Capa-TREINAR-20.01.2015.pdf>>. Acessado em: 28 de Outubro de 2023, 18:49:30.

INMETRO. **A segurança em áreas classificadas**. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/painelsetorial/palestras/Seguran%C3%A7aR%C3%B6pker.pdf>>. Acessado em: 28 de Outubro de 2023, 19:02:24.

UFFRJ. **Riscos no Trabalho em Silos e Armazéns**. Disponível em: <<http://www.ufrj.br/institutos/it/de/acidentes/silo.htm>>. Acessado em: 29 de Outubro de 2023, 02:18:10.

TRAMONTINA. **Atmosferas Explosivas**. Disponível em: <<https://assets.tramontina.com.br/pdf/AtmosferasExplosivas.pdf> >. Acessado em: 29 de Outubro de 2023, 15:58:51.

ANAC. **Densidade do ar**. Disponível em: <[NETO, Fábio Casale Padovani. \*\*Seleção de motores elétricos para áreas classificadas em uma unidade de produção de petróleo e gás\*\*. Rio de Janeiro, RJ: UFRJ, 2013. Monografia \(trabalho de conclusão de curso\).](https://www2.anac.gov.br/anacpedia/porpor/tr986.htm#:~:text=O%20s%C3%ADmbolo%20Po%20indica%20a,de%201%2C2923g%2Fcm3.></a>>. Acessado em: 29 de Outubro de 2023, 16:14:50.</p></div><div data-bbox=)

PALAMATIC. **Como classificar minha zona ATEX?**. Disponível em: <<https://www.palamaticprocess.com.br/blog/como-classificar-minha-zona-atex>>. Acessado em: 05 de Novembro de 2023, 21:17:57.

ALPHA-EX, **Informativo Técnico.** Disponível em: <<https://www.alpha-ex.com.br/images/legislacao/informativotecnico.pdf>>. Acessado em: 08 de Novembro de 2023, 00:06:56.

WEG, **Atmosferas Explosivas.** Disponível em: <<https://static.weg.net/medias/downloadcenter/he5/h77/WEG-guia-para-atmosferas-explosivas-50076428-brochure-portuguese-web.pdf>>. Acessado em: 10 de Novembro de 2023, 19:54:45.

AgriExpo, **Comporta de descarga pneumática.** Disponível em: <<https://www.agriexpo.online/pt/prod/zuther-gmbh/product-170712-34538.html>>. Acessado em: 10 de Novembro de 2023, 21:11:48.

Kepler Weber. **Silos de Fundo Plano.** Disponível em: <<https://www.kepler.com.br/products/silos-1/flat-bottom-silos>>. Acessado em: 16 de Novembro de 2023, 23:05:24.

TECSOL. **Silo Expedição.** Disponível em: <<https://www.tecsol.ind.br/produto/10/silo-expedicao>>. Acessado em 18 de Novembro de 2023, 18:17:21.

ELETROLÂNDIA. **ARDUINO - DISPLAY LCD GRAF.128X64.** Disponível em: <<https://www.eletrolandiaes.com.br/display-lcd-graf-128x64-010-00272074>>. Acessado em 19 de Novembro de 2023, 15:11:53.

LINAK. **LA36.** Disponível em: <<https://www.linak.com.br/produtos/atuadores-lineares/la36/>>. Acessado em 19 de Novembro de 2023, 15:21:36.

METRO TOKYO. **Sensor de Gás Combustível.** Disponível em: <<https://www.lojametrotokyo.com.br/sensor-de-gas-combustivel-mtk-2516-ex/?sku=1152487.32269.0>>. Acessado em 19 de Novembro de 2023, 15:21:36.

ALPHA INSTRUMENTOS. **O que é Índice de Proteção IP?** Disponível em: <<https://www.alfainstrumentos.com.br/o-que-e-indice-de-protecao-ip/>>. Acessado em 19 de Novembro de 2023, 19:58:29.

MAGAZINE LUIZA. **Réguas lineares potenciométricas 400mm sensor de posição ou sensor de deslocamento – SEIKO.** Disponível em: <<https://www.magazineluiza.com.br/regua-linear-potenciometrica-400mm-sensor-de-posicao-ou-sensor-de-deslocamento-seiko/p/ka61374587/pa/regu/>>. Acessado em 19 de Novembro de 2023, 23:45:29.

COMPRES RURAL. **Conheça os três maiores produtores de grãos no mundo.** Disponível em: <<https://www.comprerural.com/conheca-os-tres-maiores-produtores-de-graos-do-mundo/>>. Acessado em 25 de Novembro de 2023, 15:39:52.

SIACON. **Riscos e Perdas em Silos e Armazéns de Grãos: Como Evitá-los e Proteger seu Investimento.** Disponível em: <<https://www.siacon.com.br/BlogSIA/riscos-e-perdas-em-silos-e-armazens-de-graos-como-evita-los-e-proteger-seu-investimento/>>. Acessado em 25 de Novembro de 2023, 15:49:13.

MAGGISAN MÁQUINAS. **Comporta.** Disponível em: <<https://www.maggisan.com.br/produtos/maquinas-industriais/ensacadeira-de-racao-modelo-epf-1050/>>. Acessado em 26 de Novembro de 2023, 23:20:21.

ELEMENT14. **Usando DFRobot\_LIDAR07 com Arduino Uno.** <[https://community.element14.com/products/arduino/b/blog/posts/using-dfrobot\\_5f00\\_lidar07-with-arduino-uno](https://community.element14.com/products/arduino/b/blog/posts/using-dfrobot_5f00_lidar07-with-arduino-uno)>. Acessado em 09 de Junho de 2024, 15:35:48.

MOUSER. **VNH5200AS-E.** <[https://br.mouser.com/datasheet/2/389/vnh5200as\\_e-1852660.pdf](https://br.mouser.com/datasheet/2/389/vnh5200as_e-1852660.pdf)>. Acessado em 15 de Junho de 2024, 14:03:08.

RACLITE. **Certificado Antiexplosão: Entenda o Significado de Cada Marcação.** <<https://raclite.com.br/petroleo-oleo-e-gas-offshore/certificado-antiexplosao-entenda-significado/>>. Acessado em 03 de Outubro de 2024, 16:11:55.

## 6 APÊNDICE A

//INÍCIO HABILITAÇÃO PONTE H

```
IO_RA0_SetHigh();
```

```
IO_RA1_SetHigh();
```

//FIM HABILITAÇÃO PONTE H

```
IO_RB3_SetLow(); //BUZZER DESLIGADO
```

//INÍCIO DA LEITURA DA EEPROM

```
if (IO_RD4_GetValue() == 1 && IO_RD5_GetValue() == 1) {
```

```
    menudecalibracao();
```

```
}
```

```
a = DATAEE_ReadByte(1);
```

```
b = DATAEE_ReadByte(2);
```

```
dist_intmin = b * 256 + a;
```

```
c = DATAEE_ReadByte(3);
```

```
d = DATAEE_ReadByte(4);
```

```
dist_intmax = d * 256 + c;
```

//FIM DA LEITURA DA EEPROM

```

distancia_minima = dist_intmin; //Passando para um variável float
distancia_maxima = dist_intmax; //Para ser usado em uma fórmula

GLCD_Put_String_Offset("MENU PRINCIPAL", 22, 0, 0);
GLCD_Put_String_Offset("ABERTURA DESEJADA", 13, 20, 0);
GLCD_Put_String_Offset("ABERTURA ATUAL", 22, 40, 0);
printvardisplaybotao();
printvardisplay();

while (1) {
    if (IO_RD4_GetValue() == 1 || IO_RD5_GetValue() == 1) {
        verficabotao();

        flag = 1;
    }

    distance = distanciarequerida;

    printvardisplaybotao();

    lersensor();

    distance = distancia_media;

    distance = (distancia_media - distancia_minima)*100 / (distancia_maxima -
    distancia_minima); //Após calibração

    distance = (1 - (distance / 100))*100; //Transforma em escala de 0 a 100

    if (distance > 100) { //Limite de 0 a 100

        distance = 100;

```

```

    } else if (distance < 0) {
        distance = 0;
    }

    printvardisplay();

    if (distance < distanciarequerida && flag == 1) { // flag = 1 é quando recebeu algum
comando, ou para abir ou para fechar
        abre();
        flag = 2;
    } else if (distance > distanciarequerida && flag == 1) { // flag = 2 é quando a comporta
está abrindo
        fecha();
        flag = 4;
    } else if (distance >= distanciarequerida && flag == 2) { // flag = 4 é quando a comporta
está fechando
        para();
        flag = 3;
    } else if (distance <= distanciarequerida && flag == 4) { // flag = 3 é quando atingiu a
posição desejada, aguardando algum comando para abrir ou fechar para voltar para 1
        para();
        flag = 3;
    }
}
}

void lersensor(void) {
    if (flag_leitura == true) {
        if (vet_msg[1] == 0xE0) {

```

```

    distancia = (vet_msg[5] * 256) + vet_msg[4];
    distancia_media = distancia;

    for (uint8_t i = 0; i < (N_MEDIAS - 1); i++) {
        vet_distancia[i] = vet_distancia[i + 1];
        distancia_media += vet_distancia[i];
    }

    vet_distancia[N_MEDIAS - 1] = distancia;
    distancia_media = distancia_media / N_MEDIAS;
}

flag_leitura = false;
}
}

void verificabotao(void) {
    if (IO_RD4_GetValue() == 1) {
        distanciarequerida = distanciarequerida + 5;
        if (distanciarequerida > 100) distanciarequerida = 100;
        distance = distanciarequerida;
        printvardisplaybotao();
        DELAY_milliseconds(100);
        distance = 0;
    } else if (IO_RD5_GetValue() == 1) {
        distanciarequerida = distanciarequerida - 5;
        if (distanciarequerida < 0) distanciarequerida = 0;
        distance = distanciarequerida;
    }
}

```

```

    printvardisplaybotao();

    DELAY_milliseconds(100);

    distance = 0;

}

}

void printvardisplay(void) {

    i = distance / 10000;

    j = (distance - (i * 10000)) / 1000;

    k = (distance - (i * 10000)-(j * 1000)) / 100;

    l = (distance - (i * 10000)-(j * 1000)-(k * 100)) / 10;

    m = (distance - (i * 10000)-(j * 1000)-(k * 100)-(l * 10));

    GLCD_Put_VChar_Offset(num[k], 44, 49, 1, 1);

    GLCD_Put_VChar_Offset(num[l], 56, 49, 1, 1);

    GLCD_Put_VChar_Offset(num[m], 68, 49, 1, 1);

    GLCD_Put_VChar_Offset('%', 80, 49, 1, 1);

}

void printvardisplaycalib(void) {

    i = distance / 10000;

    j = (distance - (i * 10000)) / 1000;

    k = (distance - (i * 10000)-(j * 1000)) / 100;

    l = (distance - (i * 10000)-(j * 1000)-(k * 100)) / 10;

    m = (distance - (i * 10000)-(j * 1000)-(k * 100)-(l * 10));

    GLCD_Put_VChar_Offset(num[k], 44, 49, 1, 1);

```

```

GLCD_Put_VChar_Offset(num[l], 56, 49, 1, 1);
GLCD_Put_VChar_Offset(num[m], 68, 49, 1, 1);
GLCD_Put_VChar_Offset('m', 80, 49, 1, 1);
GLCD_Put_VChar_Offset('m', 92, 49, 1, 1);
}

void printvardisplaybotao(void) {
    i = distance / 10000;
    j = (distance - (i * 10000)) / 1000;
    k = (distance - (i * 10000)-(j * 1000)) / 100;
    l = (distance - (i * 10000)-(j * 1000)-(k * 100)) / 10;
    m = (distance - (i * 10000)-(j * 1000)-(k * 100)-(l * 10)); //usar sprintf

    GLCD_Put_VChar_Offset(num[k], 44, 25, 1, 1);
    GLCD_Put_VChar_Offset(num[l], 56, 25, 1, 1);
    GLCD_Put_VChar_Offset(num[m], 68, 25, 1, 1);
    GLCD_Put_VChar_Offset('%', 80, 25, 1, 1);
}

void menudecalibracao(void) {
    GLCD_Put_String_Offset("MENU DE CALIBRACAO", 10, 0, 0);
    GLCD_Put_String_Offset("PRESSIONE 1", 31, 20, 0);
    GLCD_Put_String_Offset("PARA PROSEGUIR", 19, 27, 0);
    GLCD_Put_String_Offset("PRESSIONE 2", 31, 47, 0);
    GLCD_Put_String_Offset("PARA CANCELAR", 25, 54, 0);
    DELAY_milliseconds(1000);
    while (IO_RD4_GetValue() == 0 && IO_RD5_GetValue() == 0);
}

```

```
GLCD_Clear();

if (IO_RD4_GetValue() == 1) {

    GLCD_Put_String_Offset("CALIBRANDO MIN", 31, 20, 0);

    while(IO_RD5_GetValue() == 0){
        lersensor();
        distance = distancia_media;
        printvardisplaycalib();
        DELAY_milliseconds(100);
        if(IO_RD4_GetValue() == 1){
            abre();
        }else{
            para();
        }
    }
}

GLCD_Clear();

GLCD_Put_String_Offset("MIN CALIBRADO", 31, 20, 0);

DELAY_milliseconds(1000);

lersensor();

distancia_minima = distancia_media;

//INÍCIO DA GRAVAÇÃO DA EEPROM DISTÂNCIA MÍNIMA
```

```
dist_intmin = distancia_minima;

a = dist_intmin;

b = (dist_intmin & 0xFF00) >> 8;

DATAEE_WriteByte(1, a);

DATAEE_WriteByte(2, b);

//FIM DA GRAVAÇÃO DA EEPROM DISTÂNCIA MÍNIMA

distance = distancia_minima;

printvdisplaycalib();

DELAY_milliseconds(1000);

GLCD_Clear();

GLCD_Put_String_Offset("CALIBRANDO MAX", 31, 20, 0);

DELAY_milliseconds(1000);

while(IO_RD5_GetValue() == 0){

    lersensor();

    distance = distancia_media;

    printvdisplaycalib();

    DELAY_milliseconds(100);

    if(IO_RD4_GetValue() == 1){

        fecha();

    }else{

        para();

    }

}
```

```
    }  
}  
  
GLCD_Clear();  
GLCD_Put_String_Offset("MAX CALIBRADO", 31, 20, 0);  
DELAY_milliseconds(1000);  
  
GLCD_Clear();  
distancia_minima = dist_intmin;  
distance = distancia_minima;  
GLCD_Put_String_Offset("MIN:", 31, 20, 0);  
printvardisplaycalib();  
distance = 0;  
DELAY_milliseconds(1000);  
GLCD_Clear();  
  
lersensor();  
distancia_maxima = distancia_media;  
  
//INÍCIO DA GRAVAÇÃO DA EEPROM DISTÂNCIA MÁXIMA  
  
dist_intmax = distancia_maxima;  
c = dist_intmax;  
d = (dist_intmax & 0xFF00) >> 8;  
  
DATAEE_WriteByte(3, c);  
DATAEE_WriteByte(4, d);
```

```
//FIM DA GRAVAÇÃO DA EEPROM DISTÂNCIA MÁXIMA
```

```
GLCD_Clear();
```

```
distancia_maxima = dist_intmax;
```

```
distance = distancia_maxima;
```

```
GLCD_Put_String_Offset("MAX:", 31, 20, 0);
```

```
printvardisplaycalib();
```

```
distance = 0;
```

```
DELAY_milliseconds(1000);
```

```
GLCD_Clear();
```

```
}
```

```
GLCD_Bitmap_Offset(imagemcomporta1, 10, 0, 115, 63);
```

```
GLCD_Bitmap_Offset(imagemcomporta9, 10, 0, 115, 63);
```

```
GLCD_Bitmap_Offset(imagemcomporta17, 10, 0, 115, 63);
```

```
GLCD_Bitmap_Offset(imagemcomporta25, 10, 0, 115, 63);
```

```
GLCD_Bitmap_Offset(imagemcomporta33, 10, 0, 115, 63);
```

```
GLCD_Bitmap_Offset(imagemcomporta37, 10, 0, 115, 63);
```

```
GLCD_Bitmap_Offset(imagemcomporta33, 10, 0, 115, 63);
```

```
GLCD_Bitmap_Offset(imagemcomporta25, 10, 0, 115, 63);
```

```
GLCD_Bitmap_Offset(imagemcomporta17, 10, 0, 115, 63);
```

```
GLCD_Bitmap_Offset(imagemcomporta9, 10, 0, 115, 63);
```

```
GLCD_Bitmap_Offset(imagemcomporta1, 10, 0, 115, 63);
```

```
GLCD_Clear();
```

```
}
```

```
void abre(void){
    IO_RA3_SetLow();
    IO_RA2_SetHigh();
}

void fecha(void){
    IO_RA2_SetLow();
    IO_RA3_SetHigh();
}

void para(void){
    IO_RA2_SetLow();
    IO_RA3_SetLow();
}
```