

**UNIVERSIDADE REGIONAL INTEGRADA DO ALTO URUGUAI E DAS MISSÕES**  
**PRÓ-REITORIA DE ENSINO, PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO**  
**CÂMPUS DE ERECHIM**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIAS E CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO**  
**CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**JEAN CARLOS DALLA ROSA**

**MONITORAMENTO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA E RASTREABILIDADE**  
**DE COMPONENTES COM MICROCONTROLADOR**

**ERECHIM - RS**

**2022**

**JEAN CARLOS DALLA ROSA**

**MONITORAMENTO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA E RASTREABILIDADE  
DE COMPONENTES COM MICROCONTROLADOR**

**Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
ao Curso de Engenharia Elétrica como  
requisito parcial à obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Elétrica  
Departamento de Engenharias e Ciência da  
Computação da Universidade Regional  
Integrada do Alto Uruguai e das Missões –  
Câmpus de Erechim.**

**Orientador:** Prof. Dr. Cássio Luciano Baratieri

**ERECHIM - RS**

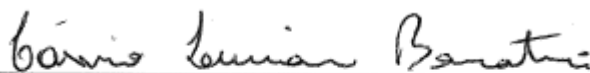
**2022**

**MONITORAMENTO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA E RASTREABILIDADE  
DE COMPONENTES COM MICROCONTROLADOR**

**Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
ao Curso de Engenharia Elétrica como  
requisito parcial à obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Elétrica  
Departamento de Engenharias e Ciência da  
Computação da Universidade Regional  
Integrada do Alto Uruguai e das Missões –  
Câmpus de Erechim.**

Erechim, 12 de dezembro de 2022.

**BANCA EXAMINADORA**



Prof. Dr. Cássio Luciano Baratieri (Orientador)

URI Erechim



Prof. Me. Claudomir Antônio Martinazzo (Examinador)

URI Erechim



Prof.<sup>a</sup> Me. Camila Sampaio dos Reis (Examinadora)

URI Erechim

Dedico este trabalho a todas as pessoas que por algum momento nessa jornada me apoiaram e inspiraram para que eu pudesse realizar mais esse sonho, especialmente minha família e minha companheira.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente aos meus pais, José Francisco Dalla Rosa e Marizete Fátima Dalla Rosa, que abriram mão de seus lazeres para que nunca faltasse comida na mesa para mim e meu irmão Rodrigo, sempre nos incentivando a estudar, sem seus esforços nada disso seria possível alcançar.

À minha companheira Fernanda Baldissera Dalpupo, que esteve comigo desde o início da graduação, compartilhando momentos e conquistas. Esteve também ao meu lado nos momentos mais difíceis, me incentivando nas madrugadas de estudo antecedentes as provas e exames. Não apenas isso, com sua história me inspirou cada dia mais, fomentando mais ainda a minha admiração por essa pessoa incrível.

Aos funcionários do laboratório Marciele Schwanke e Mateus Santin, pelo suporte dado para realização dos testes. Agradeço aos colegas e amizades feitas durante essa jornada, em especial Daian Bampi Gallas, Iuri Rodolfo Maziero Possa e Victor Felipe Ferrari.

À empresa Edelbra Gráfica LTDA, pelo suporte e oportunidades durante essa caminhada, permitindo o estudo para aplicação deste trabalho.

Por fim, agradeço a Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões pela infraestrutura, concedendo laboratórios e equipamentos para que pudesse ser realizado os testes. Agradeço a os professores do corpo docente pelo conhecimento disponibilizado ao longo de toda graduação, especialmente ao coordenador do curso, professor e orientador Dr. Cássio Luciano Baratieri pelas instruções, conversas e ensinamentos que me auxiliaram a desenvolver esse trabalho.

Assim mesmo, desejamos manifestar nosso reconhecimento mais sincero a todas as pessoas que colocaram à nossa disposição seus conhecimentos, auxílio, sugestões e espírito crítico.

*“A melhor forma de prever o futuro é criá-lo.”*

(Peter F. Drucker)

## RESUMO

O presente projeto trata sobre a aplicação do conceito Manutenção 4.0, relacionada diretamente com a Indústria 4.0, que está sendo realizada no setor de manutenção em uma indústria gráfica localizada na região do Alto Uruguai, cuja finalidade é melhorar os processos de manutenção, reduzindo o tempo de execução e o custo com estoque. Desenvolvido uma placa de circuito impresso para aquisição de dados da máquina e elaborado um sistema embarcado utilizando o microcontrolador ESP32 para monitorar temperatura e controlar manutenções preventivas, emitindo avisos e mensagens no display de uma IHM (interface homem-máquina). Para que o PCM (Planejamento e Controle de Manutenção) tenha mais assertividade nas decisões, além dos avisos em uma IHM, foi realizado através da comunicação WiFi uma transmissão de informações para o banco de dados da indústria. A implementação do sistema ocorreu em uma máquina de acabamento e serviu como piloto para que seja continuado em outras máquinas. Por fim, os resultados demonstraram que a comunicação entre o servidor e o ESP32 foi essencial para obter a informação precipitadamente, não necessitando de coletas de dados no local, permitindo assim continuidade na ampliação do projeto de controle de manutenção.

**Palavras-chave:** Manutenção 4.0, Indústria 4.0, ESP32, Manutenção Preventiva, PCM.

## **ABSTRACT**

This project deals with the application of the Maintenance 4.0 concept, directly related to Industry 4.0, which is being carried out in the maintenance sector in a printing industry located in the Alto Uruguai region, whose purpose is to improve maintenance processes, reducing time run time and inventory cost. A printed circuit board was developed to acquire data from the machine and an embedded system was developed using the ESP32 microcontroller to monitor temperature and control preventive maintenance, issuing warnings and messages on the display of an HMI (man-machine interface). In order for the PCM (Maintenance Planning and Control) to have more assertiveness in decisions, in addition to the warnings in an HMI, a transmission of information to the industry database was carried out through WiFi communication. The implementation of the system took place on a finishing machine and served as a pilot for it to be continued on other machines. Finally, the results showed that the communication between the server and the ESP32 was essential to obtain information quickly, not requiring on-site data collection, thus allowing continuity in expanding the maintenance control project.

**Keywords:** Maintenance 4.0, Industry 4.0, ESP32, Preventive Maintenance, PCM;

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Principais mudanças na história da indústria.....	15
Figura 2 - Funcionamento da máquina a vapor .....	15
Figura 3 - Máquina de tear mecânico .....	16
Figura 4 - Produção em massa.....	16
Figura 5 - Pilares da Indústria 4.0.....	18
Figura 6 – <i>IoT</i> aplicado na indústria.....	20
Figura 7 – Computação em nuvem.....	21
Figura 8 – Volume de ameaças de ataque de <i>Ransomware</i> em 2021 .....	22
Figura 9 – Exemplificação de impressora 3D .....	23
Figura 10 - Representação de uso de realidade virtual.....	23
Figura 11- Gráfico perdas sem utilização do PCM .....	25
Figura 12 - Fluxograma dos procedimentos metodológicos .....	27
Figura 13 - Monostar Binder (Vista Frontal).....	28
Figura 14 - Monostar Binder (Vista de trás).....	28
Figura 15 - Diagrama eletrônico de aquisição de dados.....	29
Figura 16 - Diagrama Eletrônico Complementar .....	30
Figura 17 - PCB placa de aquisição .....	30
Figura 18 - Diagrama Eletrônico dos Botões da IHM.....	31
Figura 19 - PCB dos botões da IHM .....	31
Figura 20 - Diagrama Eletrônico Fonte de Alimentação.....	32
Figura 21 - PCB Fonte de Alimentação.....	32
Figura 22 - Placa em fresagem .....	33
Figura 23 - Trilhas da placa de aquisição de dados .....	34
Figura 24 - Vista superior da placa de aquisição de dados.....	34
Figura 25 - Trilhas da placa da IHM .....	35
Figura 26 - Vista superior dos botões da IHM .....	35
Figura 27 -Trilhas da placa da fonte de alimentação.....	36
Figura 28 - Vista superior da fonte de alimentação.....	36
Figura 29 - Sensor de temperatura DS18B20.....	37
Figura 30 - Alimentação externa DS18B20 .....	38
Figura 31 - Curva de erro DS18B20.....	38
Figura 32 - Adaptação Funcional Monostar Binder .....	39

Figura 33 - Módulo relé de duas saídas .....	39
Figura 34 - Display LCD 16x02 .....	40
Figura 35 - Módulo Serial I2C .....	41
Figura 36 - Construção ACS712 .....	42
Figura 37 - Funcionamento ACS712.....	42
Figura 38 - Gráfico de leitura x saída (mV/A) .....	43
Figura 39 - Módulo ESP32.....	43
Figura 40 - Pinout ESP32 .....	44
Figura 41 – Fluxograma da lógica de programação .....	45
Figura 42 - Aplicação do DS18B20 .....	49
Figura 43 - Desenho superior retirado do esquema elétrico .....	49
Figura 44 - Painel e caixa de passagem.....	50
Figura 45 – Interrupção do sensor ACS712 no circuito .....	50
Figura 46 - Leitura de máquina em produção.....	51
Figura 47 - Acabamento do Display.....	52
Figura 48 - Haste de Fixação.....	52
Figura 49 - Haste prolongadora para botão .....	53
Figura 50 - Implementação case.....	54
Figura 51 - Interior do case.....	55
Figura 52 - Relé de acionamento para leitura.....	55
Figura 53 - Telas de aviso de manutenção .....	56
Figura 54 - Telas de acompanhamento IHM .....	56
Figura 55 - Sistema de Manutenção Edelbra.....	57
Figura 56 - Acesso a máquina SysMain .....	57
Figura 57 - Página de monitoramento Monostar .....	58

## LISTA DE TABELAS

Quadro 1 - Relação de telas IHM .....	40
Quadro 2 - Definição de avisos .....	40
Quadro 3 - Relação de pinos.....	44

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>12</b>
<b>1.1 Objetivos .....</b>	<b>13</b>
1.1.1 Objetivo geral .....	13
1.1.2 Objetivos específicos .....	13
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>14</b>
<b>2.1 Evolução da indústria .....</b>	<b>14</b>
<b>2.2 Indústria 4.0.....</b>	<b>17</b>
2.2.1 Fundamentos da Indústria 4.0.....	18
2.2.2 Indústria 4.0 no Brasil.....	24
2.2.3 Manutenção 4.0.....	24
<b>2.3 Internet das coisas aplicada na manutenção industrial.....</b>	<b>26</b>
<b>3 METODOLOGIA .....</b>	<b>27</b>
<b>3.1 Especificação do processo da indústria .....</b>	<b>27</b>
<b>3.2 Elaboração de interface de aquisição de dados .....</b>	<b>29</b>
3.2.1 Placa de aquisição de dados.....	29
3.2.2 Botões da IHM.....	31
3.2.3 Fonte de Alimentação .....	31
<b>3.3 Confeção da placa de aquisição de dados.....</b>	<b>32</b>
3.3.1 Placa ESP32.....	33
3.3.2 Botões da IHM.....	34
3.3.3 Fonte de Alimentação .....	35
<b>3.4 Definição de materiais.....</b>	<b>36</b>
3.4.1 Sensor de temperatura DS18B20 .....	37
3.4.2 Relé 5VDC.....	38
3.4.3 Display LCD 16x02 .....	39
3.4.4 Módulo Serial I2C – PCF8574 .....	41
3.4.5 Sensor de corrente ACS712 .....	41
3.4.6 ESP32 .....	43
<b>3.5 Elaboração do Sistema Embarcado.....</b>	<b>44</b>
<b>3.6 Implementação em máquina .....</b>	<b>48</b>
<b>3.7 Case para placa de aquisição de dados.....</b>	<b>51</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>54</b>
<b>4.1 Implementação do sistema.....</b>	<b>54</b>
<b>4.2 Sistema Web.....</b>	<b>56</b>
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>59</b>
<b>5.1 Perspectivas futuras .....</b>	<b>59</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>61</b>

## 1 INTRODUÇÃO

As indústrias surgiram oficialmente em meados do século XVIII, com o propósito de produzir grandes quantidades de um produto final, utilizando matéria prima, mão de obra e máquinas (QUINTINO, 2019). Desta forma, propiciaram-se avanços produtivos e tecnológicos, e a economia mundial se fortaleceu promovendo o incentivo a concorrência entre empresas. Essa concorrência vem estimulando o mercado da indústria, fazendo com que cada vez mais as empresas se adequem ao mercado, adquirindo melhorias nos processos industriais, qualidade nos produtos e segurança.

O avanço industrial pode ser sumarizado em quatro revoluções. A primeira grande revolução industrial teve como principal objetivo a mecanização de processos industriais e iniciou na Inglaterra por volta de 1750, com utilização de máquinas a vapor, a maior parte destinada a produção têxtil. A segunda revolução industrial iniciou na metade do século XIX, foi marcado pela utilização de eletricidade e linhas de montagem industrial, denominado Fordismo. A terceira revolução industrial iniciou após a Segunda Guerra Mundial, com a inclusão de tecnologia na indústria, como computadores, sistemas eletrônicos e robôs, marcou pelo modelo Toyota, com a produção flexível, reduzindo desperdícios (QUINTINO, 2019).

A quarta revolução industrial, também chamada de indústria 4.0, iniciou na Alemanha em 2011, com intuito de unificar informações fabris, acompanhar em tempo real, analisar dados, armazenagem em nuvem. Enquanto muitas indústrias, principalmente no Brasil, ainda não adotam integralmente a terceira revolução, indústrias com melhores estruturas avançam na indústria 4.0 (SACOMANO, 2018).

O setor da indústria que acompanha essa evolução é a manutenção. Esta quarta fase da revolução industrial é conhecida por Manutenção 4.0, utiliza sensores e tecnologias que permitem a coleta de dados em tempo real, inteligência artificial, realidade aumentada e simuladores, permite ainda controlar manutenções corretivas e preventivas, tomada de ações remotamente (ALMEIDA, 2019). A manutenção é um dos setores com maiores custos dentro de uma indústria, muitas vezes atrelada a falta de manutenção preventiva, ligada a discordância entre manutenção e produção, pois em algumas empresas com sua linha de produção em alta produtividade, dificilmente há tempo de para realizar manutenção preventiva.

A manutenção preventiva está presente nos diversos processos de produção da indústria, muitas vezes não é eficiente devido a parametrização de manutenção que foi desenvolvida e implementada em época de alta demanda de trabalho, como é o caso de indústrias gráficas, que nos últimos anos têm visto um decaimento na produção, e diferentes demandas durante o ano.

A parametrização em alta demanda acaba afetando a assertividade da manutenção na baixa demanda, pois com ausência de horímetro, não se tem o controle de manutenção preventiva e acaba sendo realizado mais manutenções do que o necessário, o que pode ser um problema se tratando de lubrificação, pois a graxa pode atingir o produto.

Neste contexto, o presente trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema eletrônico à aplicação do conceito de indústria 4.0 no setor de manutenção de uma indústria gráfica, localizada na região Alto Uruguai. Sistema que usa microcontrolador com periféricos de conectividade, para controle assertivo de manutenção preventiva, rastreabilidade de peças trocadas e acompanhamento em tempo real, a fim de eliminar perdas de livros devido ao excesso de manutenção, redução de custo de peças em estoque e controle de manutenção confiável.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo geral**

Desenvolver um sistema de monitoramento e controle à manutenção em uma indústria gráfica, seguindo o conceito de manutenção 4.0.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

- Identificar processos da indústria;
- Especificar as variáveis a serem controladas e monitoradas;
- Desenvolver interfaces de aquisição e controle de dados;
- Elaborar sistema embarcado microcontrolado com IHM;
- Realizar testes experimentais e computacionais.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo são apresentados tópicos à contextualização do estudo e projeto, como a evolução da indústria, a Indústria 4.0 e seu cenário nacional e as características de manutenção para que se possa acompanhar a quarta revolução, além da utilização da Internet das Coisas na manutenção industrial.

### 2.1 Evolução da indústria

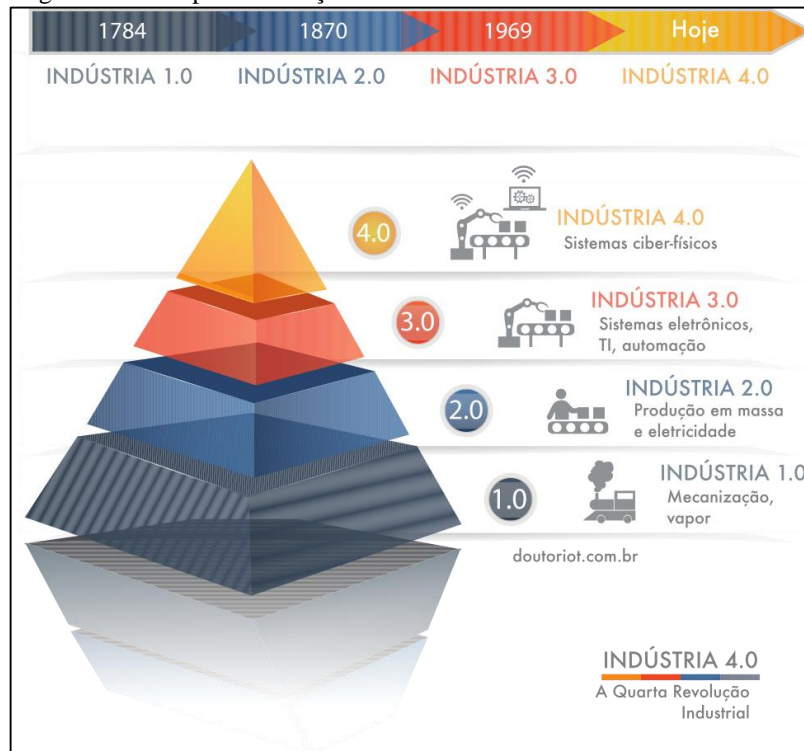
A indústria aplica a transformação de matéria prima em um ou vários produtos finais. Antes de vivenciar por todas as revoluções industriais, a produção era com trabalho totalmente manual e utilização de ferramentas simples, na maioria das vezes a produção era para consumo próprio. Países como França e Inglaterra utilizavam oficinas de artesanato como forma de manufatura, ganhos sobre trabalhos manuais (QUINTINO, 2019). Por conta da utilização de ferramentas simples e trabalho manual, o produto final não segue um padrão de qualidade, além de uma produção de baixo volume e alto custo para sua fabricação. Contava com uma comunicação lenta por meio de cartas, já que a maior parte da população vivia no campo.

Nos últimos dois séculos decorreram quatro fases da revolução industrial, todas com o mesmo propósito de melhoria de produção. Na figura 1 é possível verificar as principais mudanças ocorridas entre 1784 até os dias atuais.

Por volta de 1750 um movimento revolucionário surgiu na Inglaterra com o propósito de mecanizar os trabalhos manuais, designado de Primeira Revolução Industrial. Este foi conduzido pela necessidade de produzir em maior quantidade e em uma melhor qualidade, substituindo em partes o trabalho braçal. Foi nesta revolução que surgiu a máquina a vapor, criada pelo matemático e engenheiro James Watt (1736-1819).

Segundo Goekering (2010), “as modificações feitas por Watt tiveram tanta importância para o parque fabril da época que levaram o filósofo alemão Karl Marx a considerar a máquina a vapor como o item mais importante da grande indústria”, onde por meio do vapor gerado pela combustão do carvão, movimenta um ou mais pistões que em seguida leva uma roda a sua rotação, para junto com seu acoplamento fazer o movimento total.

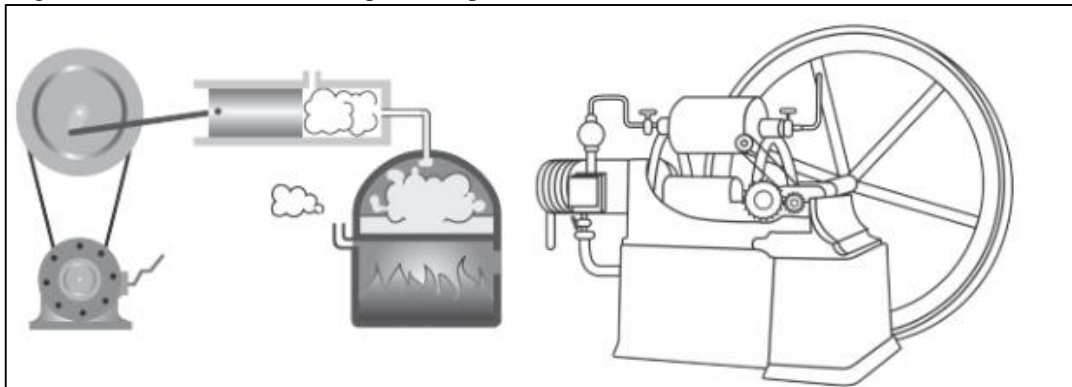
Figura 1 - Principais mudanças na história da indústria



Fonte: DIAS (2022)

A figura 2 apresenta detalhadamente o funcionamento de uma máquina a vapor.

Figura 2 - Funcionamento da máquina a vapor



Fonte: SACOMANO (2018)

Nessa primeira fase, com a máquina a vapor utilizadas principalmente para processos de tecelagem, se deu início a aceleração dos processos da produção, criação do regulador de velocidade baseado na quantidade de carvão colocado para combustão. Surgiram ainda novas peças sociais, os industriais e os operários, compostos pelos donos da fábrica e os operários oriundos do campo, respectivamente.

A máquina de tear mecânico, representado pela figura 3, era a principal máquina dos processos de tecelagem, funcionando de modo manual até a chegada da máquina a vapor, que

ao acoplar com a máquina de tear aumentava a produtividade, podendo regular velocidade de acordo com a combustão do carvão (QUINTINO, 2019).

Figura 3 - Máquina de tear mecânico



Fonte: QUINTINO (2019)

A partir da segunda metade do século XIX iniciou a utilização da eletricidade para modernizar máquinas e impulsionar a produção. Nessa época, Cincinnati, cidade de Ohio – EUA, era o maior centro de manufatura do país devido a adaptação das empresas a divisão de trabalho e produção em massa (QUINTINO, 2019), representado pela figura 4.

Figura 4 - Produção em massa



Fonte: A VOZ DA INDÚSTRIA (2020)

Muitos empresários acabavam visitando Cincinnati a fim de conhecer a produção em massa, um desses empresários foi Henry Ford, que ao ver o processo de industrialização das empresas estadunidenses, adaptou a manufatura e em massa para produção de seus carros, utilizando serviços repetitivos e padronizando produtos. Esse modelo de produção ficou

conhecido como Fordismo, concedendo redução de custos e possibilitando que seus funcionários conseguissem adquirir bens e serviços produzidos (SACOMANO, 2018).

A terceira revolução industrial iniciou após o término da Segunda Guerra Mundial e ficou marcada pela utilização de computadores dentro das fábricas e início da automação industrial, o que acabou agregando no Sistema Toyota na ajuda do controle de produção, de acordo com a demanda, pela produção flexível, reduzindo ao máximo perdas de matérias primas e produtos.

O avanço da automação industrial surgiu da evolução dos componentes eletrônicos até o surgimento de equipamentos elétricos, eletromecânicos e digitais. O principal componente da automação industrial nessa fase foi o controlador lógico programável (CLP), reduzindo o uso de componentes robustos e utilizando da eletrônica para comandar boa parte das máquinas. Conforme foi avançando o uso de eletrônica, mais barato ficava esses componentes e consequentemente o preço do produto final. Outro fator que agregou para a Terceira Revolução Industrial foi o uso da Tecnologia da Informação, possibilitando uma comunicação mais rápida e efetiva (SACOMANO, 2018).

## **2.2 Indústria 4.0**

Em países com tecnologias mais desenvolvidas, é possível ver o domínio da automação industrial e utilização de robôs para repetição e qualidade de processos. Em países menos desenvolvidos há uma grande quantidade de empresas ainda em fase de automação, acompanhado pela falta de estrutura financeira, pela logística, em alguns casos por ter produção de produto específico, sem muitas saídas, o que acaba inviabilizando a automação total (GRAGLIA, 2018).

A Quarta Revolução Industrial, teve início na Alemanha em 2011, quando foi comentado pela primeira vez em uma feira de Hannover, onde o governo alemão criou um projeto que deu origem ao termo Indústria 4.0, denominado *Plattform Industrie 4.0* (Plataforma Indústria 4.0), com o propósito de otimizar o processo de produção, desenvolvendo tecnologia de ponta para que os sistemas vindos de automação da Terceira Revolução realizassem troca de dados entre os operadores e suas máquinas (SACOMANO, 2018).

A indústria 4.0 além de criar a interação entre operador e máquina, aumento de produtividade, gerenciamento remoto, ajuda a promover uma melhor competitividade entre países com tecnologia avançada no mercado, afetando diversas áreas, como indústria de matéria

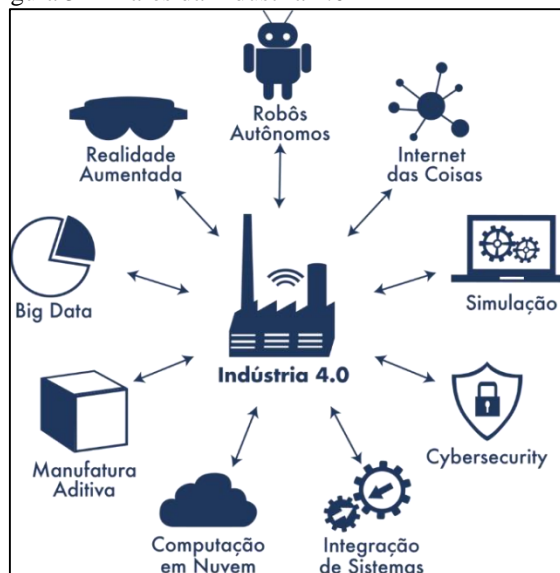
prima, nanotecnologia, computação quântica, sequenciamento de DNA, *IoT* (internet das coisas), entre outros (QUINTINO, 2019).

A empresa que entra para a indústria 4.0, além da competitividade do mercado, tem alteração na mão de obra operacional, fazendo com que os profissionais comportem mais funções, adquirindo conhecimentos interdisciplinares, pois o que antes era apenas um contato de operador com máquina, hoje necessita da integração dos dados a armazenagem dos mesmos em nuvem, transmitindo esses dados para os funcionários superiores. Por outro lado, algumas funções profissionais podem acabar ocasionando na redução de funcionários, deixando de existir ou realocação de função (ALMEIDA, 2019).

### 2.2.1 Fundamentos da Indústria 4.0

A indústria 4.0 tem nove pilares de fundamentação, são eles: Análise *Big Data*, Robótica, Simulação Computacional, Internet das Coisas, Computação em Nuvem, Cibersegurança, Integração de Sistemas, Manufatura Digital e Realidade Aumentada, conforme apresentado na figura 5.

Figura 5 - Pilares da Indústria 4.0



Fonte: DIAS (2022)

#### 2.2.1.1 Análise *Big Data*

Trata-se da análise do volume de informações geradas pelo sistema, traçando melhores alternativas e soluções para tal designação, como cálculo de rota, otimização de processos,

melhor consumo de energia e qualidade, leitura de expressões faciais, documentos digitais, entre outras imagens (ALMEIDA, 2019).

#### 2.2.1.2 Robótica

Muito utilizado na terceira revolução industrial, a robótica está inserida na indústria dividindo o mesmo espaço de trabalho que operadores, o diferencial da indústria 4.0 é a utilização de inteligência artificial para tomada de decisões e comunicação com outros sistemas de equipamentos. A utilização da robótica resulta numa velocidade produção maior evita que o operador faça trabalhos repetitivos e com riscos ergonômicos (QUINTINO, 2019).

É encontrado em empresas com necessidade de trabalho pesado, principalmente no setor automotivo, onde toda linha de montagem segue um padrão de velocidade, o que no caso de um humano trabalhando não conseguiria manter a mesma consistência, já que o humano tem necessidades, pode adquirir doenças ocupacionais e não ocupacionais.

#### 2.2.1.3 Simulação computacional

Com os computadores implantados na terceira revolução industrial, iniciou a criação de *softwares* de simulação, quem vem sendo uma ferramenta muito utilizada para analisar e antecipar possíveis falhas, testar programas, permite utilizar informações de planta, analisar em tempo real, uma forma de conectar o meio físico com o virtual.

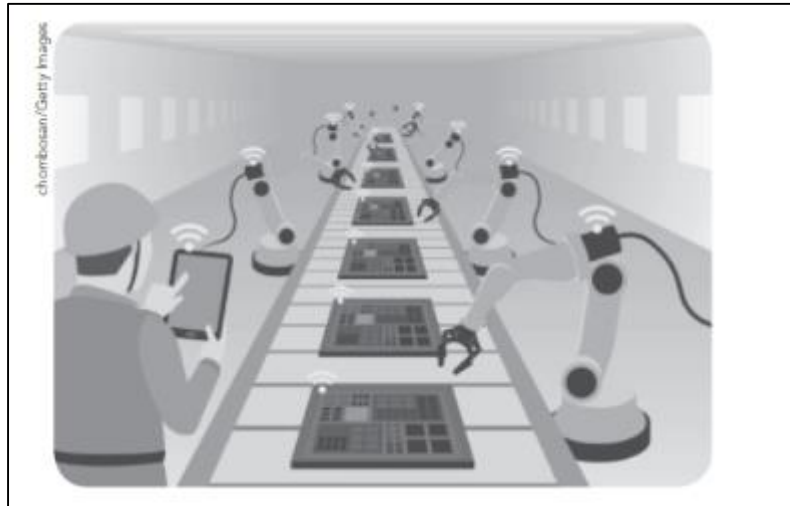
Essa tecnologia permite que o profissional, por meio de um computador, analise diferentes meios, como estática, sensores, acústicos, eletromagnéticos, entre outros, melhorando a visão do projetista sem estar na máquina, reduzindo assim o custo de elaboração do projeto, também pode de forma virtual, testar parâmetros e configurações da máquina antes de colocar o produto na máquina (ALMEIDA, 2019).

Outra aplicação da simulação computacional é na automação industrial, na utilização do CLP é feito a programação do sistema, o fabricante do equipamento fornece um *software* de simulação que pode ser utilizado para testar a programação antes de inserir na máquina, evitando danos em outros componentes.

#### 2.2.1.4 Internet das Coisas (IoT)

Acompanhando a era digital, a Internet das Coisas (*Internet of Things – IoT*) integra dispositivos virtuais e físicos utilizando a internet, no cenário industrial cria interação entre o usuário e a máquina por meio de dispositivos eletrônicos, como *smartphone* e computadores, seguindo a representação da figura 6. Para que seja possível a integração, a *IoT* é composta por redes heterogêneas, que possui a característica de identificar sinais de radiofrequência, sensores, nanotecnologias, reconhecimento facial e outros dispositivos inteligentes. Para compatibilizar a rede heterogênea com o sistema monitorado, devem ter *hardware* e *software* para suportar a comunicação da rede (MORAIS, 2018).

Figura 6 – *IoT* aplicado na indústria



Fonte: ALMEIDA (2019)

#### 2.2.1.5 Computação em nuvem

Quando coletadas as informações e dados das máquinas, elas são armazenadas e processadas em um local, quando conectada à internet permite o compartilhamento em diferentes locais com acesso à internet, de modo remoto (ALMEIDA, 2019), como mostra a figura 7. “A computação em nuvem é fundamental para que as informações e dados possam ser acessadas, de forma fácil, de qualquer parte do mundo em que haja internet...” (SACOMANO, 2018), torna a comunicação e busca de informações de forma mais ágil, além de reduzir espaços físicos e redução de custos.

Figura 7 – Computação em nuvem



Fonte: ALMEIDA (2019)

#### 2.2.1.6 Cibersegurança

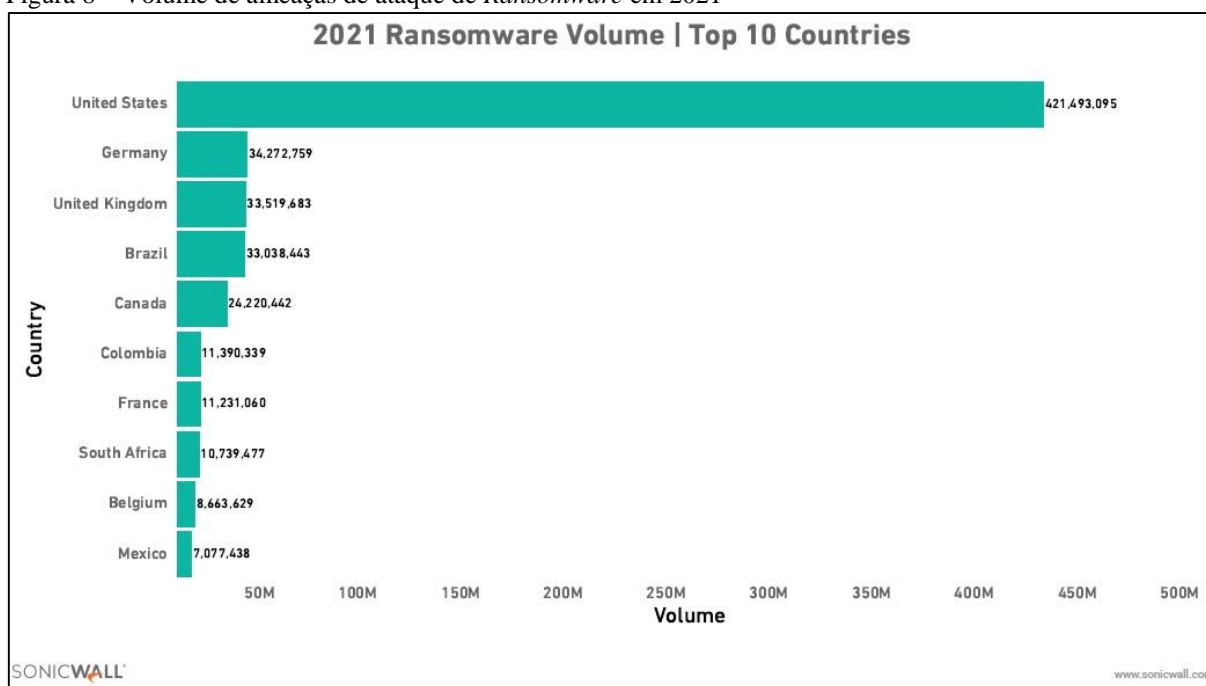
Para agrupar os dados e informações de máquinas, é utilizada a computação de nuvem, devido a integração do sistema e no tráfego de dados, é necessário que tenha uma proteção do sistema. Neste sentido adota-se a cibersegurança, a qual emprega tecnologias que buscam detectar, prevenir e combater ataques a dados, programas, sistemas e redes, para melhor segurança é utilizado algoritmos de detecção de falhas e anormalidade de tráfego de dados, sistemas criptografados, sequências de reconhecimento de padrões, detecção de *malwares* (QUINTINO, 2019).

Com o avanço da era digital o dinheiro físico começa a ser trocado por criptomoedas, consequentemente migrando criminalidade para o ambiente virtual, nos últimos anos é possível acompanhar um aumento no número de *ransomware*, nome do *malware* que invade dispositivos ligados a internet, com o objetivo de roubar dados e cobrar valores na casa dos milhões e até bilhões de dólares, para devolver os dados.

A cibersegurança se tornou essencial devido a grande quantidade de dados agrupados em um local, um ataque bem-sucedido do *Ransomware* pode parar uma fábrica por horas ou até meses. Segundo o CEO da SonicWall, Bill Conner, uma das empresas mais conceituadas no ramo de soluções de segurança cibernética, o aumento dos ataques acabou estimulando as empresas a gastarem com equipamentos de defesa, o dobro de gasto comparado ao ano de 2020 (CISO Advisor, 2021). Na figura 8 pode-se observar uma predominância de ataques nos Estados Unidos da América, que concentra um polo tecnológico avançado e com muitos

usuários, seguido pela Alemanha e Reino Unido, sendo os países com melhor adaptação a indústria 4.0.

Figura 8 – Volume de ameaças de ataque de *Ransomware* em 2021



Fonte: CISO ADVISOR (2021)

### 2.2.1.7 Integração de sistemas

No conceito de indústria 4.0, a integração dos sistemas é o que promove o funcionamento em harmonia, por exemplo em uma gráfica de livro com estrutura total para indústria 4.0, onde certo momento pode ocorrer uma falha no tamanho do caderno, a inteligência artificial irá comunicar a máquina responsável pelo corte das folhas, após será gerado uma análise para verificar se foi erro de definição de tamanho ou tiveram perdas de matéria durante o processo (ALMEIDA, 2019).

### 2.2.1.8 Manufatura Aditiva

Também chamada de impressão 3D, a manufatura aditiva agiliza o processo de fabricação de peças, assim reduzindo custo e tempo de logística. Muitas vezes as empresas dependem de peças importadas e necessitam de urgência, com essa tecnologia é possível que a fábrica matriz envie o arquivo para a impressora localizada em outro país, obtendo o tempo de impressão e o custo de matéria prima local (SACOMANO, 2018).

A figura 9 exemplifica a impressão de uma bola de basquete utilizando manufatura aditiva.

Figura 9 – Exemplificação de impressora 3D



Fonte: FERNANDES (2022)

#### 2.2.1.9 Realidade Aumentada

A realidade virtual é aplicada para fins de visualização de um mundo virtual, de forma a imaginar que seja real, obter a sensação de estar em um carro antes de comprá-lo, apartamento e entre outros. Já a realidade aumentada está ligada ao mundo real, onde com meio de *softwares* e *hardwares* compatíveis, é possível visualizar peças, como mostra a figura 10, uma representação de visualização de um conjunto de engrenagens, é possível também ler temperaturas, manuais, vista explodida de materiais, esquema elétrico, entre outras aplicações (SACOMANO, 2018).

Figura 10 - Representação de uso de realidade virtual.



Fonte: SACOMANO (2018)

### 2.2.2 Indústria 4.0 no Brasil

Durante toda evolução da indústria ficou perceptível a diferença do potencial industrial entre países desenvolvidos e subdesenvolvidos, em 2017 enquanto a Alemanha estava em um patamar mais evoluído no conceito de indústria 4.0, o Brasil estava com 1,6% das empresas situadas na indústria 4.0, segundo pesquisa da Confederação Nacional da Indústria. Atualmente o Brasil encontra-se disperso entre a Segunda e Terceira revolução industrial, muitas empresas têm déficit de tecnologia e acabam por não conseguir acompanhar as fases da revolução, levando-os para busca de automação com aplicação de computadores no chão de fábrica. A perspectiva para os próximos 5 anos é que a digitalização do processo produtivo, um dos pilares iniciais da indústria 4.0, atinja cerca de 22% de empresas (QUINTINO, 2019).

Além da perspectiva para os próximos 5 anos, a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI) estimou que os gastos com manutenção consumo de energia e eficiência ficam restringidos a R\$ 73 bilhões por ano no Brasil, o Banco Nacional para o Desenvolvimento (BNDES) tem procurado investir para ampliar a capacidade produção, a fim de colocar o Brasil na concorrência com o mercado global (RODRIGUES, 2022).

O Brasil possui algumas barreiras que impedem o avanço e implementação tecnológica da indústria 4.0, tais como falta de mão de obra qualificada para aplicação e operação, poucas integrações entre faculdade e indústria, linhas de telecomunicações instáveis, alto custo de investimento e falta de linhas de financiamento. Outro fator que tem grande interferência é os constantes ataques cibernéticos, comentados na seção 2.2.1.6.

Nas últimas décadas percebe-se ausência de arrojo dos produtores de máquinas e equipamentos para iniciar um investimento em tecnologias compatíveis a indústria 4.0, sem buscar melhor produtividade ou qualidade, pois muitos acabam procurando pelo mais barato devido a dolarização das matérias primas (SACOMANO, 2018).

### 2.2.3 Manutenção 4.0

A manutenção de uma indústria é responsável por manter as máquinas e equipamentos funcionais para a produção, para isso deve acompanhar as evoluções industriais. De modo geral é dividido em três grupos, sendo eles Gestão, Planejamento e Controle de Manutenção(PCM) e execução, compostos por supervisores, planejadores e técnicos, respectivamente. Na manutenção 4.0 surgem novos empregos, como engenheiro de pesquisa e desenvolvimento,

especialista em modelagem e interpretação de dados, coordenadores de robôs e principalmente analista de dados (QUINTINO, 2019; SACOMANO, 2018).

Para tornar o processo produtivo flexível, com auxílio da conexão entre os dispositivos e equipamentos com um sistema de controle remoto, é utilizado dispositivos sensoriais que em comunicação com *softwares* ou *hardwares* transmite dados da situação atual do equipamento. Essa tecnologia favorece na detecção de falhas no processo e possíveis irregularidades no desempenho da máquina instantaneamente (DE FREITAS, 2020).

O PCM trabalha com três indicadores, confiabilidade, disponibilidade e produtividade, é essencial dentro da manutenção industrial pois reduz custos de máquina parada e conseqüentemente aumenta a produtividade da máquina. A falta do PCM chega, em muitos casos, a aproveitar 35% do tempo produtivo de manutenção, conforme mostra a figura 11, onde boa parte desse desperdício poderia ser reduzido com um melhor e mais confiável controle (TELES, 2017).

Figura 11- Gráfico perdas sem utilização do PCM



Fonte: TELES (2017)

A utilização das tecnologias da indústria 4.0 geram uma previsão de falhas mais assertiva além de fazer acompanhamento de temperatura, pressão e vibração em tempo real, diminuindo tempo de deslocamento e podendo reduzir custos com peça em estoque, a digitalização da manutenção permite que seja eliminado solicitações físicas e histórico de falhas (DE JESUS, 2022).

A manutenção para estar alinhada com a indústria 4.0 deve estar com um Planejamento e Controle de Manutenção assertivo, em conjunto com desenvolvimento técnico, manutenções preventivas e preditivas para que as análises dos dados recebidos pela máquina ou equipamento sejam coesivas com a programação de uma possível intervenção em máquina.

### **2.3 Internet das coisas aplicada na manutenção industrial**

A Internet das Coisas (*IoT*) é uma grande aliada da manutenção na indústria 4.0, com essa tecnologia facilita o acesso aos dados das máquinas e equipamentos, utilizando comunicação por cabo ou sem fio, como *wi-fi* e *bluetooth*. O acesso desses dados ocorre por meio de computador, *smartphone* ou *tablet*, por sistema web, reduzindo tempo de inspeção de dados sem sair do setor de manutenção (SACOMANO, 2018).

Dentro de um sistema de monitoramento podem ser feitos algoritmos que analisam os dados e auxiliam na previsão de falhas, definindo um possível problema e escolhendo a solução cabível, como problemas com temperatura, vibração, folgas mecânicas, ruídos e mal contato de componentes elétricos. Por meio de algoritmos podem ser feitas manutenções automáticas, definindo tempo de vida útil e estipulando datas para intervenções de manutenção (GREGÓRIO, 2018).

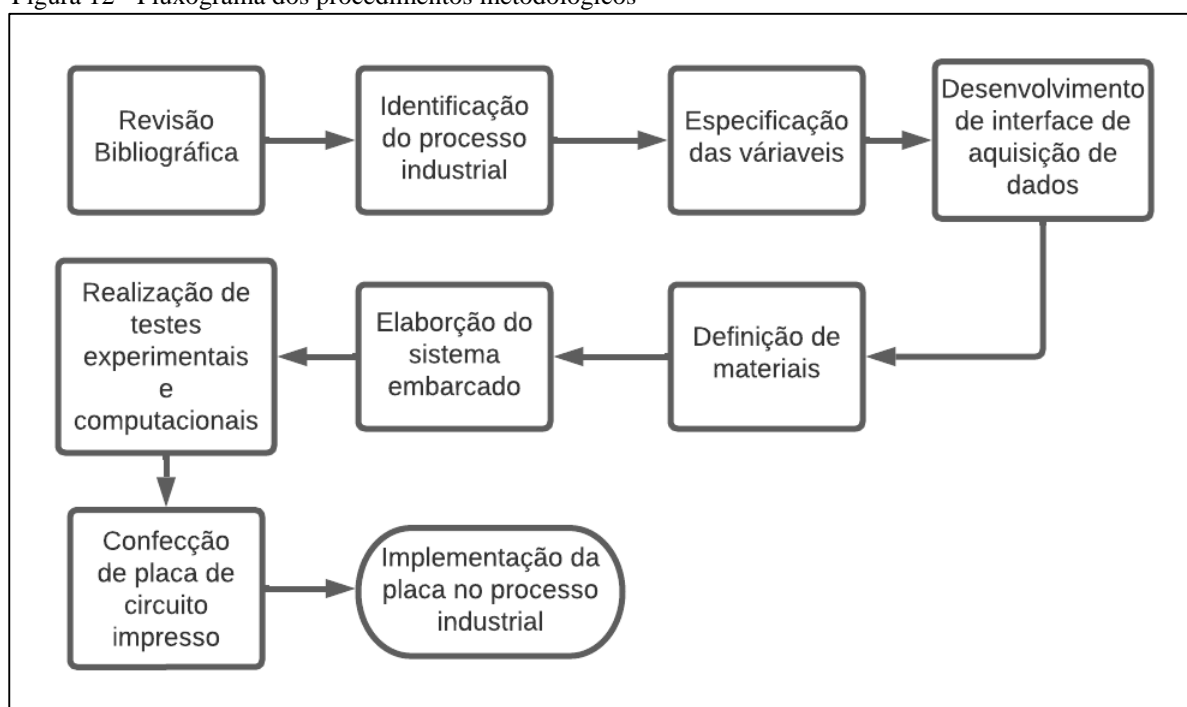
Em empresas com porte tecnológico melhor, a realidade aumenta é uma ferramenta integrada com o *IoT* que auxilia na manutenção técnica, facilitando o acesso a informações da máquina, podendo ver em tamanho real, posição de peças e vista explodida. Em empresas de prestação de serviço, essa tecnologia é utilizada para troca de informações com fábricas de outros países, para diminuir o tempo de atendimento e auxiliar o técnico em campo (SACOMANO, 2018).

### 3 METODOLOGIA

Neste capítulo são abordados os procedimentos metodológicos para o desenvolvimento da proposta de controle e monitoramento de manutenção preventiva em duas máquinas de uma indústria gráfica. A metodologia segue o modelo do fluxograma representado na figura 12, iniciando pela revisão bibliográfica, onde foram consultados livros da biblioteca virtual disponibilizada pela Universidade Regional Integrada – URI Erechim, artigos e trabalhos de conclusão de curso proveniente d Google Acadêmico, informações públicas referentes a indústria 4.0 encontradas na internet.

As informações contidas na revisão bibliográfica têm o propósito de fundamentar e contextualizar o conhecimento para permitir a execução da metodologia proposta e contemplar os objetivos do trabalho.

Figura 12 - Fluxograma dos procedimentos metodológicos



Fonte: Autor (2022)

#### 3.1 Especificação do processo da indústria

O trabalho será implementando na Edelbra Gráfica Ltda, uma empresa cujo principal faturamento provém da produção de livros didáticos. Seu parque industrial conta com setores de gravação de chapas, impressoras gráficas, máquinas de dobra, linhas de acabamento brochura, flexível e capa dura.

A máquina selecionada da linha brochura é a Monostar Binder (figuras 13 e 14), é responsável pela produção de todos os livros, prepara o miolo costurado e em seguida recebe o devido acabamento de capa. O acabamento brochura recebe a capa na Monostar Binder, finalizando o livro, já os acabamentos em capa dura e flexível entram em outra máquina para realização de acabamentos na capa.

Figura 13 - Monostar Binder (Vista Frontal)



Fonte: Autor (2022)

Figura 14 - Monostar Binder (Vista de trás)



Fonte: Autor (2022)

A máquina foi selecionada em vista do sistema de manutenção preventiva existente na empresa, que possui lacunas que dificultam a assertividade e confiabilidade da manutenção. Foi elaborada há alguns anos e utilizado como base as horas de produção daquele período, 16 horas diária por máquina, onde havia uma maior demanda comparada aos dias atuais. Nesse contexto a manutenção preventiva é dividida em diária, semanal, mensal, trimestral, semestral e anual. Por não ter acompanhamento de horas produzidas e recebimento de dados em tempo real, a

manutenção preventiva não acompanha o tempo de horas de produção, conseqüentemente são realizadas mais manutenções preventivas que o necessário.

Na máquina em questão, o excesso de manutenção preventiva acaba danificando livros devido à falta de consumo de graxa, que acaba entrando pelas gavetas de passagem do livro. O excesso de manutenção preventiva causa desperdício de tempo técnico, pois muitas manutenções demandam demasiado tempo para desmontar, sem contar o elevado custo das peças, já que maior parte das peças se encontra no mercado de importação alemã.

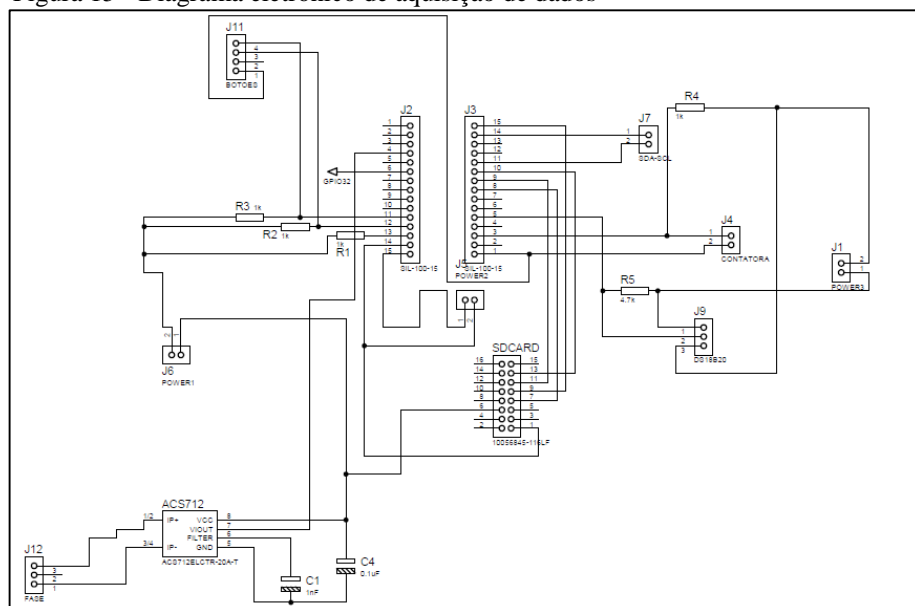
### 3.2 Elaboração de interface de aquisição de dados

Por meio do *software* Proteus, foram elaborados três diagramas eletrônicos com funções distintas e posteriormente seus circuitos eletrônicos

#### 3.2.1 Placa de aquisição de dados

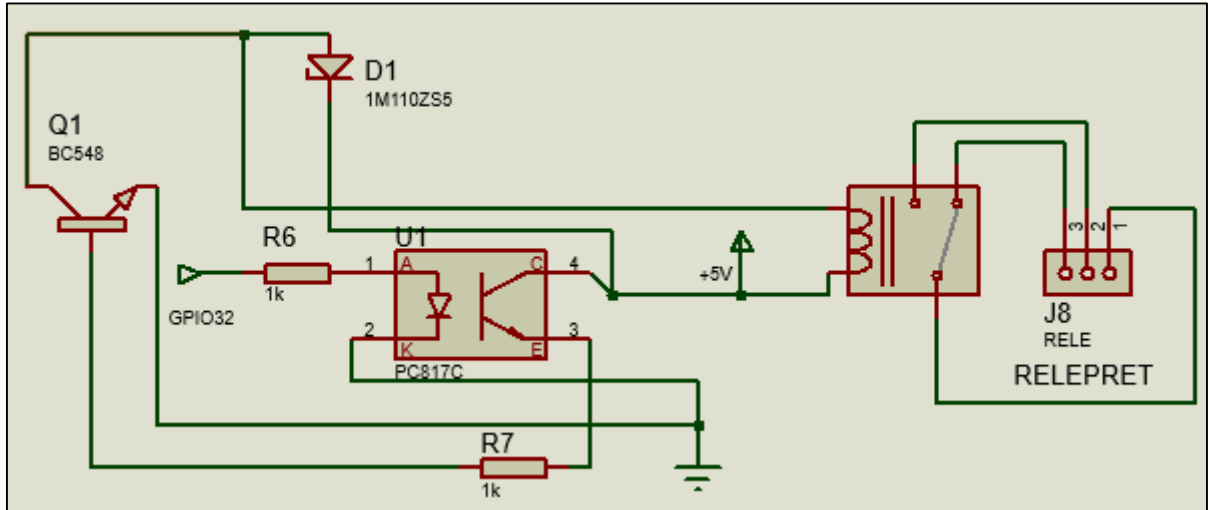
O diagrama da figura 15 é a placa principal do projeto, onde o ESP32 é encaixado nos conectores J2 e J3, em pinos de encaixe. Os conectores de alimentação designados “Power 1”, “Power 2” e “Power 3” recebem 5VCC no pino 1 e 0VCC no pino 2, alimentados por outra placa. Os conectores ‘DISPLAY’, ‘CONTATORA’, ‘BOTOES’ e ‘DS18B20’ são utilizados para comunicar o ESP32 com os demais periféricos. Utilizado o SMD ACS712 para medir corrente e relé de acionamento.

Figura 15 - Diagrama eletrônico de aquisição de dados



O seguinte diagrama, apresentado na figura 16, é a complementação do pino GPIO32, saída para o relé.

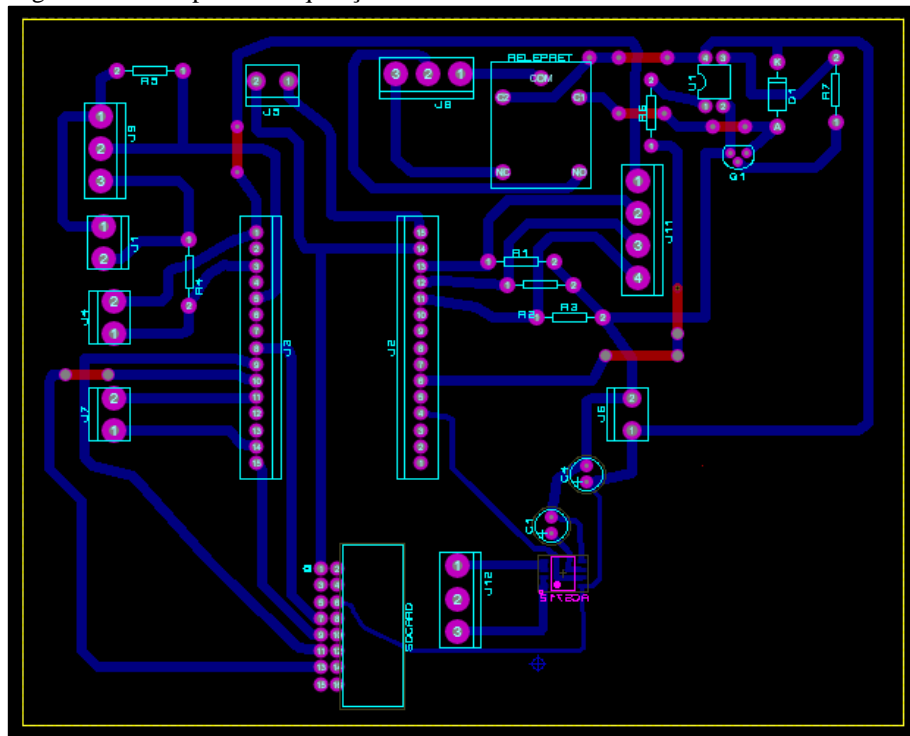
Figura 16 - Diagrama Eletrônico Complementar



Fonte: Autor (2022)

Destes diagramas obteve-se o circuito eletrônico, representado na figura 17 para ser desenvolvido a placa de circuito impresso, onde os pontos vermelhos identificam pontes para não ocorrer sobreposição de trilhas.

Figura 17 - PCB placa de aquisição

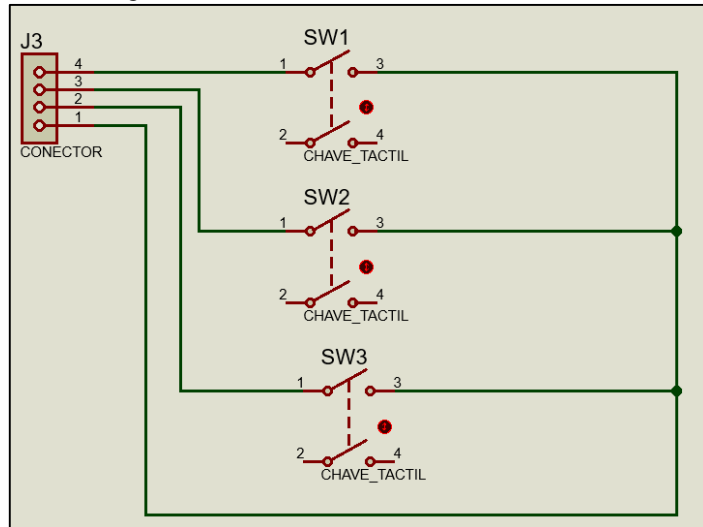


Fonte: Autor (2022)

### 3.2.2 Botões da IHM

O diagrama da figura 18 evidencia os três botões que constituirão a IHM, em que sua comunicação com a placa de aquisição é feita através do conector de 4 pinos, sendo o pino 1 a tensão comum para todos os botões.

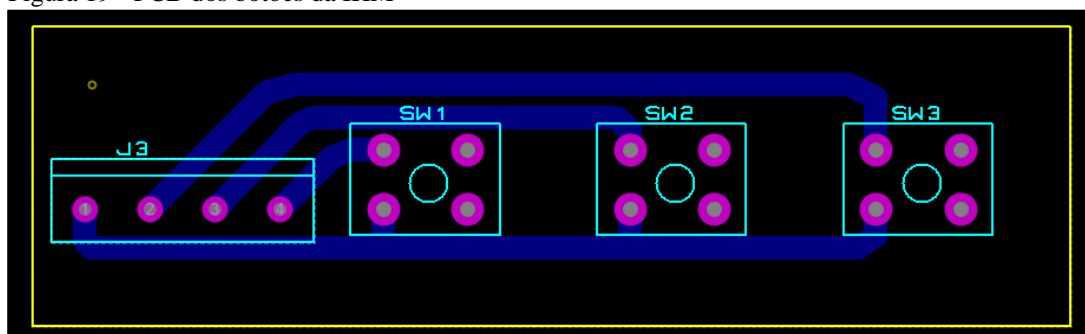
Figura 18 - Diagrama Eletrônico dos Botões da IHM



Fonte: Autor (2022)

Através desse diagrama foi desenvolvido o circuito eletrônico da figura 19 para posteriormente obter fisicamente.

Figura 19 - PCB dos botões da IHM

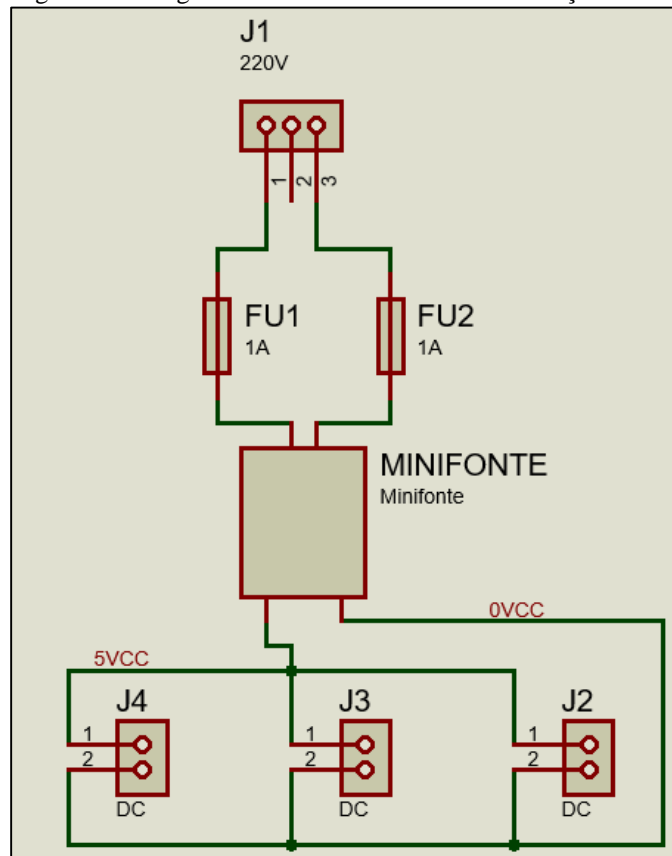


Fonte: Autor (2022)

### 3.2.3 Fonte de Alimentação

O diagrama da figura 20 tem como função receber uma tensão alternada de 220V pelo conector J1 e transformá-la em 5VCC, para assim distribuir no circuito representado pela figura 17.

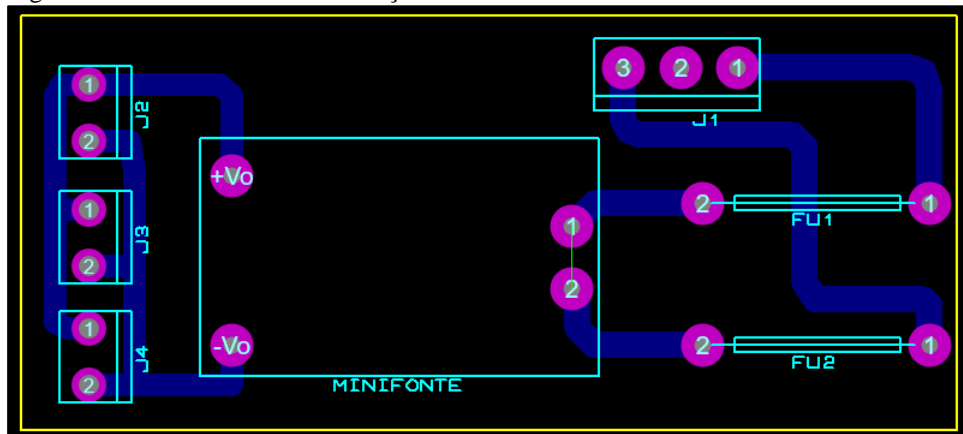
Figura 20 - Diagrama Eletrônico Fonte de Alimentação



Fonte: Autor (2022)

Na figura 21, a seguir, apresenta as trilhas e ilhas do diagrama anterior.

Figura 21 - PCB Fonte de Alimentação

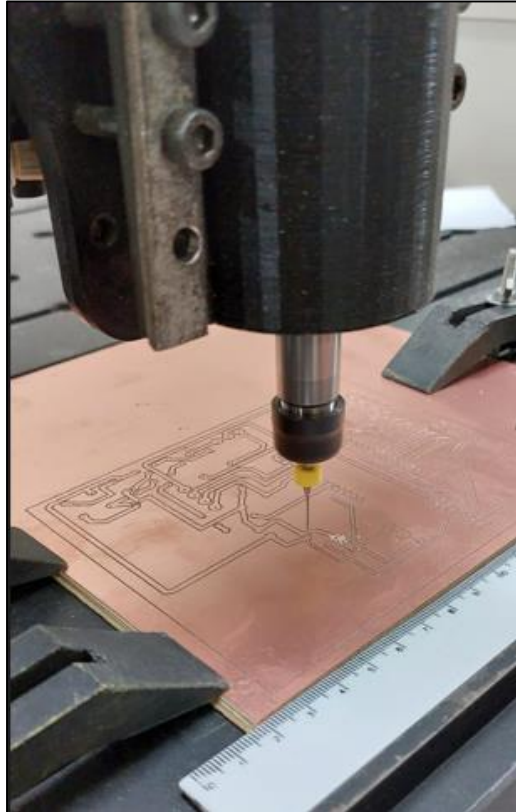


Fonte: Autor (2022)

### 3.3 Confeção da placa de aquisição de dados

Após o desenvolvimento das placas de circuito impresso via *software* Proteus, foram gerados arquivos *Gerber* na aba *Output*, para posteriormente compilar no *software* da fresa. A figura 22 apresenta o processo de fresagem da placa principal.

Figura 22 - Placa em fresagem



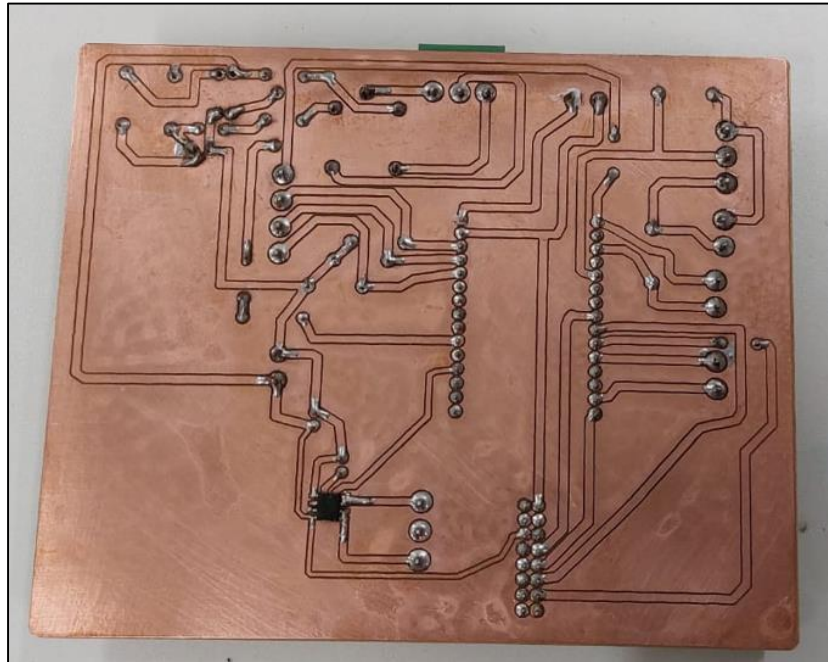
Fonte: Autor (2022)

### 3.3.1 Placa ESP32

Após a placa fresada foi utilizado lixa e palha de aço para retirar limalhas de cobre, em seguida foram soldados os componentes utilizando estanho, ferro de solda e pasta de solda. Para evitar maiores danos, com auxílio de um multímetro, foi testado possíveis curtos circuitos.

A figura 23 apresenta a parte de cobre, que depois de soldado os componentes, foi espalhado verniz para evitar ferrugens.

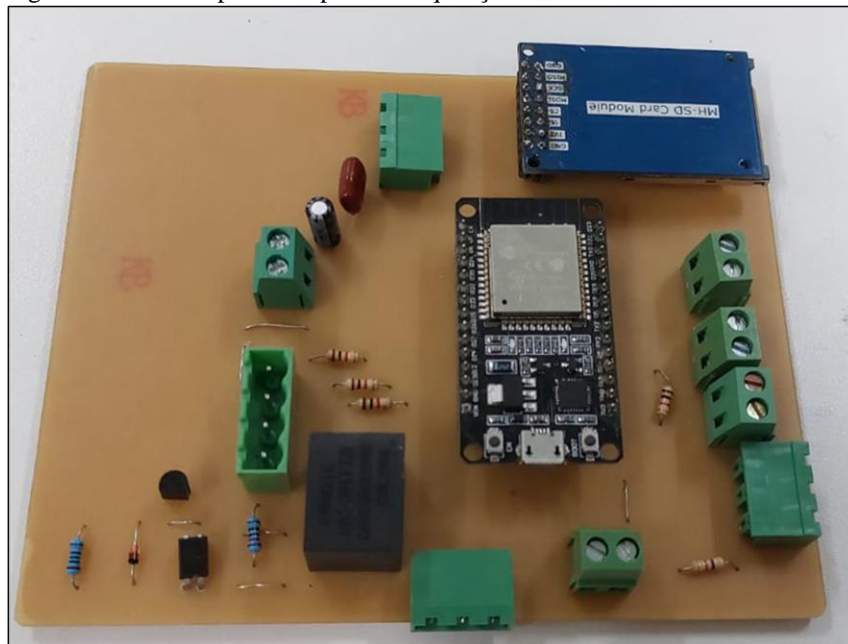
Figura 23 - Trilhas da placa de aquisição de dados



Fonte: Autor (2022)

Para facilitar serviços de manutenção, como troca do ESP32 e trocado Módulo SDCard, foram utilizados pinos fêmea torneados, permitindo encaixe e desencaixe destes componentes, como pode ser visto na figura 24.

Figura 24 - Vista superior da placa de aquisição de dados



Fonte: Autor (2022)

### 3.3.2 Botões da IHM

Feito do mesmo processo da placa de aquisição de dados, a placa com botões da IHM resultou na figura 25, que contém as ferramentas utilizadas para realizar a solda.

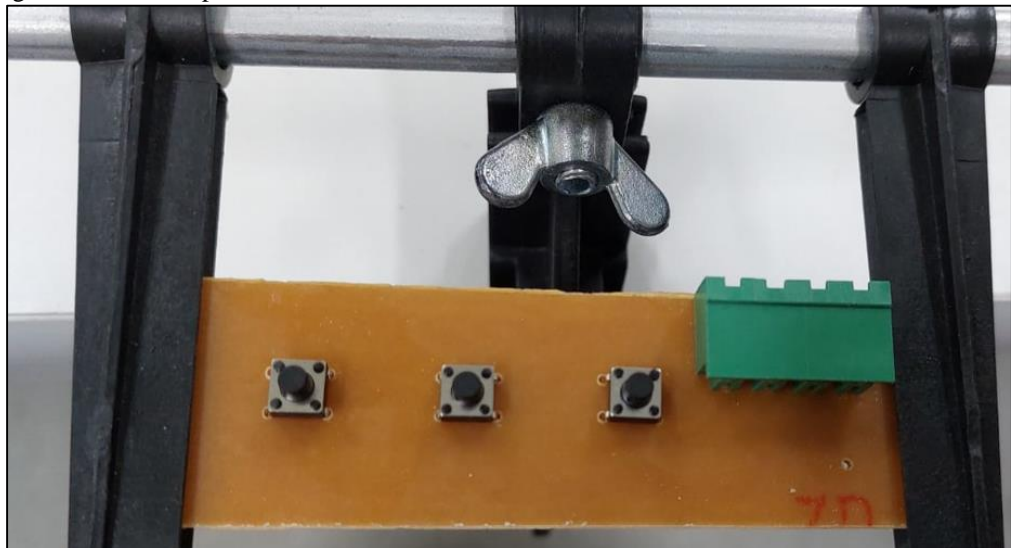
Figura 25 - Trilhas da placa da IHM



Fonte: Autor (2022)

A figura 26 apresenta a vista superior da placa, com os botões e o conector.

Figura 26 - Vista superior dos botões da IHM

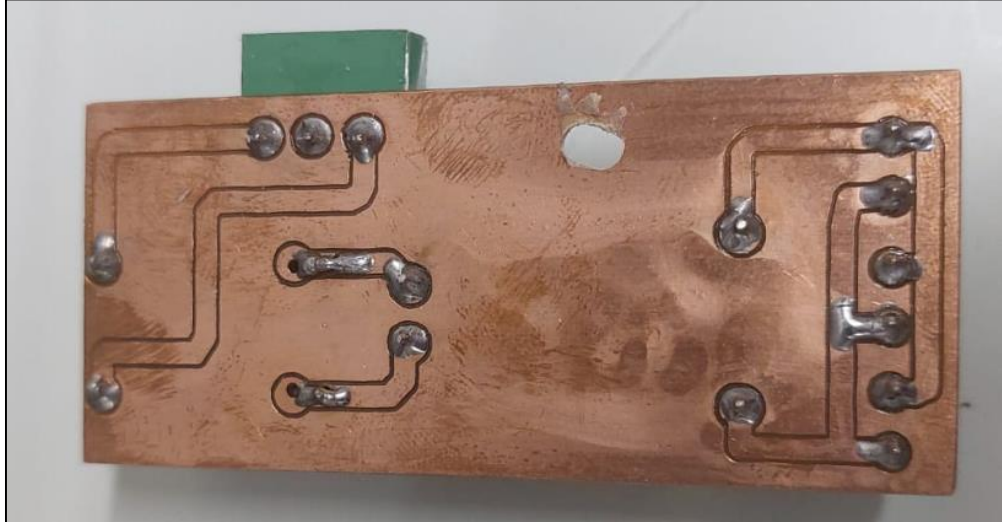


Fonte: Autor (2022)

### 3.3.3 Fonte de Alimentação

A placa produzida para alimentar os circuitos da placa de aquisição de dados, figura 27, possui 3 bornes de derivação 5VCC, mini fonte de alimentação com entrada em 220VCA e fusíveis de proteção.

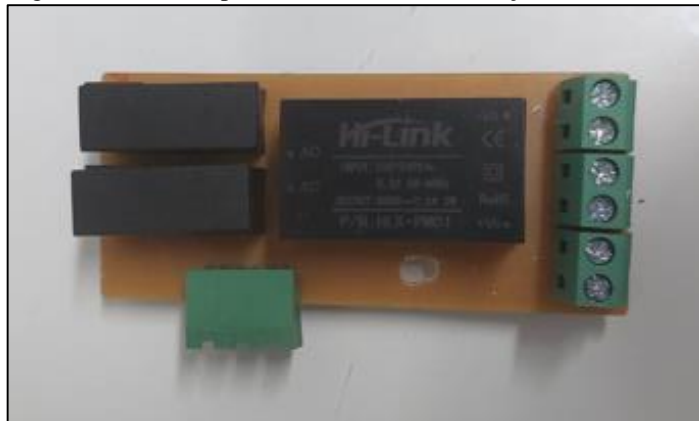
Figura 27 -Trilhas da placa da fonte de alimentação



Fonte: Autor (2022)

A vista superior está apresentada na figura 28, para proteção foram utilizados fusíveis de 1A.

Figura 28 - Vista superior da fonte de alimentação



Fonte: Autor (2022)

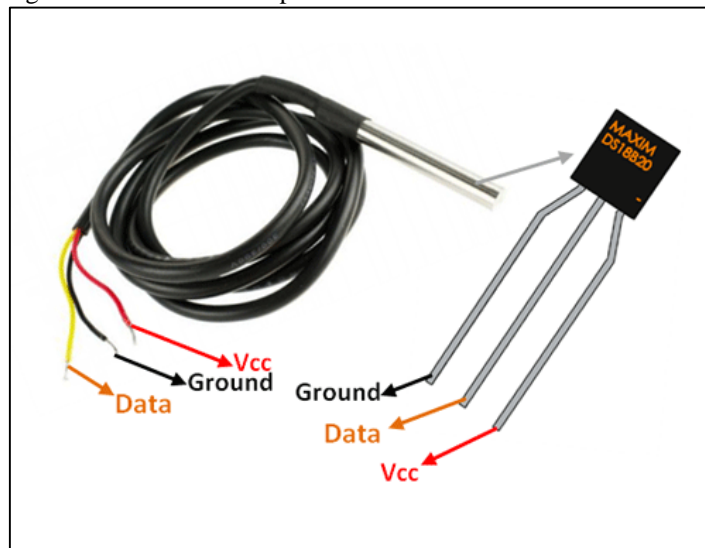
### 3.4 Definição de materiais

Para elaboração do projeto, inicialmente foram feitas simulações computacionais e testes experimentais em bancada a partir de *protoboard*. Diante dos testes foram definidos os materiais a serem utilizados para o desenvolvimento das placas de circuito impresso com o auxílio de uma fresadora de placas disponível no laboratório da universidade. Os materiais estão descritos a seguir.

### 3.4.1 Sensor de temperatura DS18B20

Para proceder a leitura de temperatura do motor foi definido o sensor de temperatura DS18B20. A figura 29 apresenta duas formas de aplicação, o da direita é o sensor propriamente dito e o da esquerda é o tipo sonda, que é o sensor adaptado para utilização de maior distância.

Figura 29 - Sensor de temperatura DS18B20

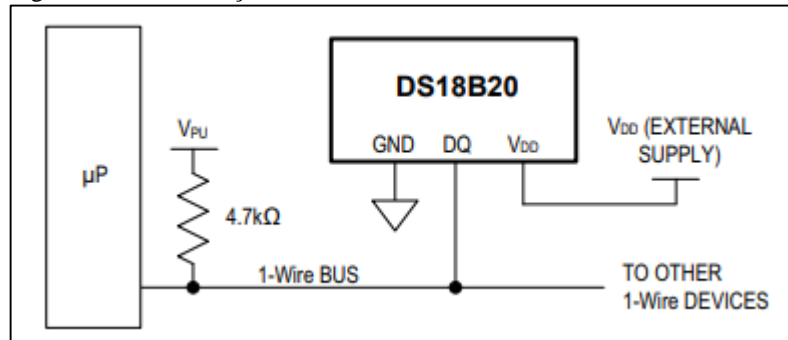


Fonte: COMPONENTS101 (2018)

O fio vermelho indica a alimentação positiva e fio preto indica o GND (terra). Já o fio é o Data, fio utilizado pela de comunicação One-Wire (envio de dados por apenas um fio).

Na figura 30 pode-se perceber como foi realizado a alimentação por fonte externa, no pino VDD é utilizado 5V, a referência negativa é ligada ao GND, utilização de comunicação one-wire no pino DQ em paralelo com um resistor de  $4,7k\Omega$  ligada a uma tensão de 5V;

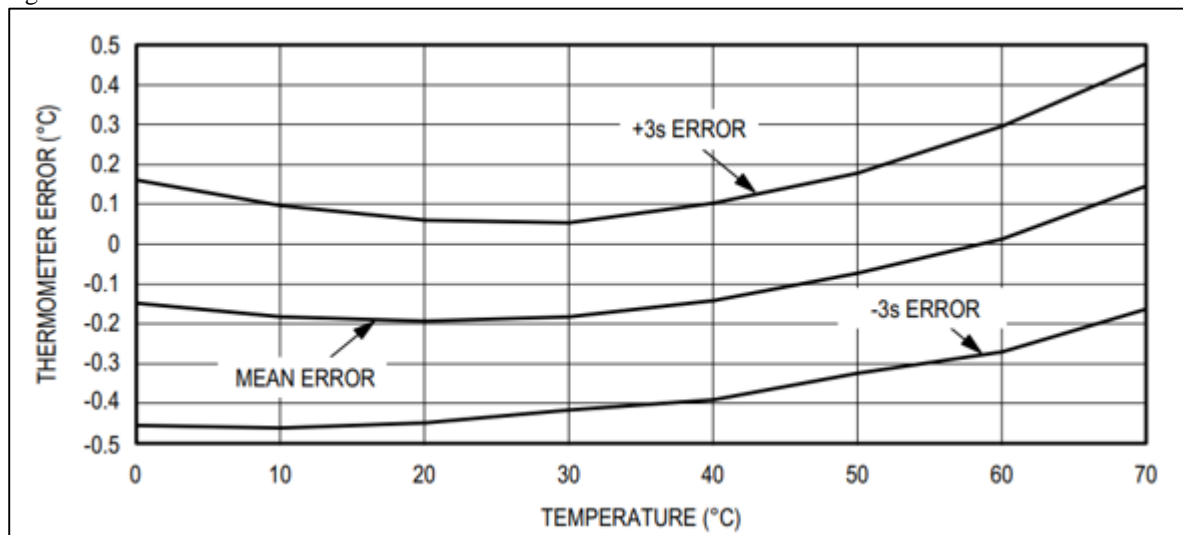
Figura 30 - Alimentação externa DS18B20



Fonte: MAXIM INTEGRATED (2019)

O DS18B20 pode medir temperaturas entre  $-55^{\circ}\text{C}$  e  $+125^{\circ}\text{C}$ . Na figura 26 está apresentado o gráfico da curva de erro que evidencia a variação de leitura entre  $0^{\circ}\text{C}$  e  $70^{\circ}\text{C}$ , resultando numa precisão de  $0,5^{\circ}\text{C}$  para mais ou para menos.

Figura 31 - Curva de erro DS18B20

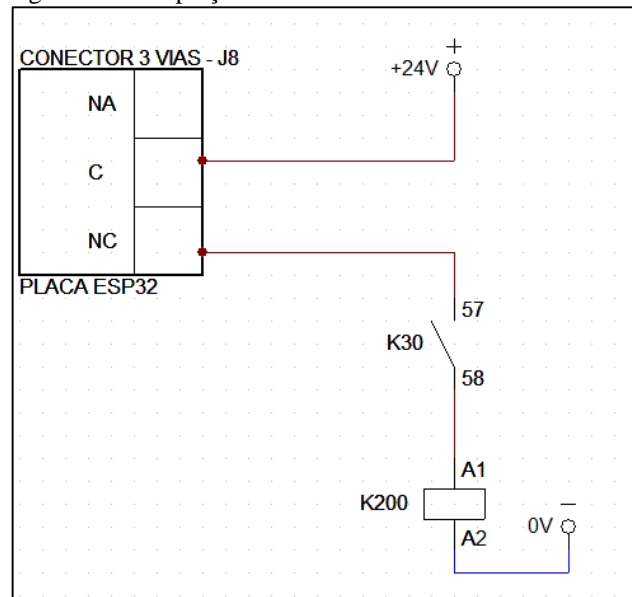


Fonte: MAXIM INTEGRATED (2019)

### 3.4.2 Relé 5VDC

Para fazer o desligamento do motor em caso de superaquecimento foi utilizado um relé com acionamento de bobina de 5VDC, utilizando a saída NF (normalmente fechada) para acionar a bobina da contatora K200 do motor principal da Monostar Binder, conforme adaptação funcional apresentada na figura 32, de modo que em um superaquecimento do motor, desligue a contatora.

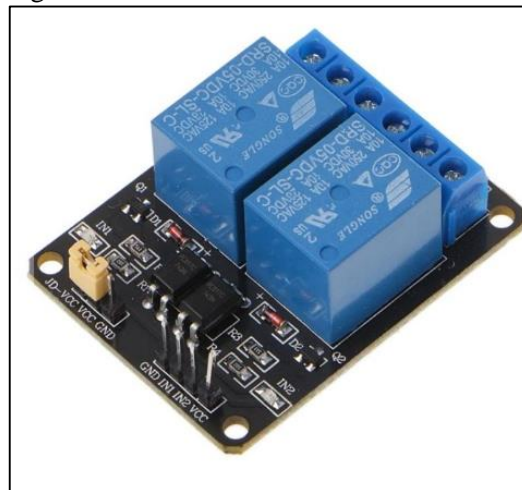
Figura 32 - Adaptação Funcional Monostar Binder



Fonte: Autor (2022)

Para desenvolver o circuito do relé foi utilizado como base um módulo relé de dois canais, conforme figura 33, desmembrando os componentes, testando e aplicado no diagrama elétrico. Da mesma forma do módulo, o acionamento deve ser de origem de sinal com nível baixo, ao receber 3,3V o relé é desligado.

Figura 33 - Módulo relé de duas saídas

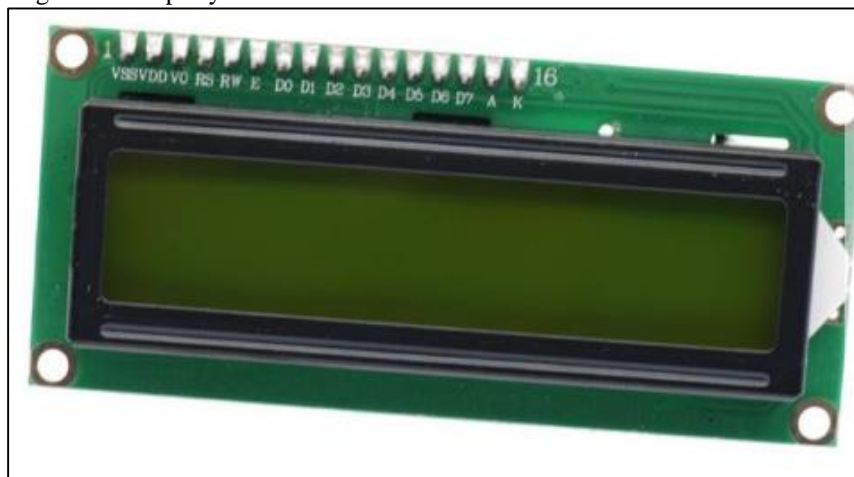


Fonte: CURTO CIRCUITO (2022)

### 3.4.3 Display LCD 16x02

É um display alfanumérico (figura 34) de dezesseis colunas por duas linhas que junto a placa feita com o circuito da figura 26, formarão uma IHM, mostrando quatro telas de mensagens, conforme apresenta o quadro 1 de relação entre ação e tela de mensagem.

Figura 34 - Display LCD 16x02



Fonte: CURTO CIRCUITO (2022)

Quadro 1 - Relação de telas IHM

FUNÇÃO	TELA	LINHA	MENSAGEM
Sem função	Tela de espera - <i>Standby</i>	Linha 0	MAINTENANCE
		Linha 1	CONTROL
Botão 1	Tela de Horímetro	Linha 0	HORIMETRO TOTAL:
		Linha 1	(Leitura de Horímetro)
Botão 2	Tela de Aviso	Linha 0	AVISO
		Linha 1	(0 a 9)
Botão 3	Tela de Temperatura	Linha 0	I: TEMP:
		Linha 1	Corrente Temperatura A °C

Fonte: Autor (2022)

Quando for acionado o botão 2 irá para a tela de “AVISO”, onde cada número representa uma falha ou aviso, descritos no quadro 2

Quadro 2 - Definição de avisos

AVISO	DEFINIÇÃO
0	SEM FALHA
1	VERIFICAR SENSOR DE TEMPERATURA
2	CUIDADO, TEMPERATURA ANORMAL
3	SUPERAQUECIMENTO DO MOTOR (ACIMA DE 80°C)
4	MANUTENÇÃO 80hs (MENSAL)

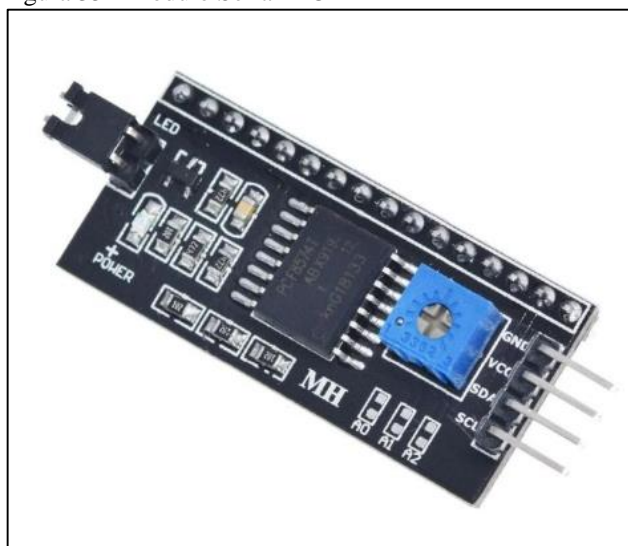
5	MANUTENÇÃO 250hs (TRIMESTRAL)
6	VERIFICAR ESTOQUE PARA 1000hs
7	MANUTENÇÃO 1000hs (ANUAL)
8	VERIFICAR MOTOR
9	VERIFICAR CONTATO

Fonte: Autor (2022)

#### 3.4.4 Módulo Serial I2C – PCF8574

Para evitar a utilização de muitas portas do microcontrolador, foi soldado o módulo serial I2C – PCF8574 ao display, que a transforma em ligação serial, necessitando apenas das portas SCL (*Serial Clock*) e SDA (*Serial Data*) do ESP32. Sua alimentação é de 5V e GND, seguindo os pinos da figura 35.

Figura 35 - Módulo Serial I2C

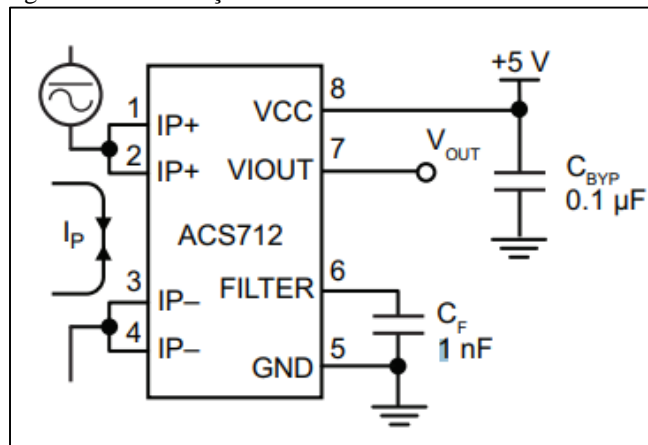


Fonte: CURTO CIRCUITO (2022)

#### 3.4.5 Sensor de corrente ACS712

Para verificar a corrente gerada pelo motor e auxiliar na contagem do horímetro, será implementado um sensor invasivo de leitura de corrente ACS712. A figura 36 apresenta a aplicação do sensor, alimentado com 5V no VCC ligado a um capacitor de 0,1 $\mu$ F no GND possui filtro capacitivo no pino *Filter* ligado com um capacitor de 1nF em série ao GND.

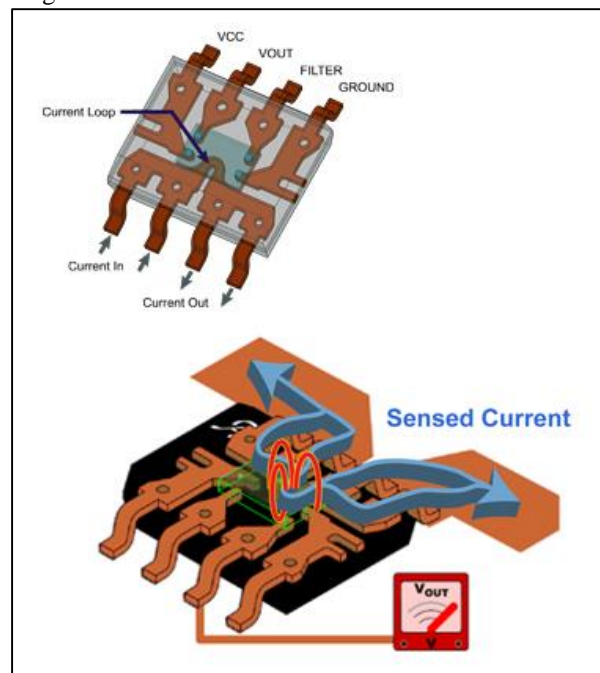
Figura 36 - Construção ACS712



Fonte: ALLEGRO MICROSYSTEMS (2019)

O funcionamento do sensor está demonstrado na figura 37, onde a corrente entra em “IP+” e sai pelo “IP-” gerando um campo magnético perpendicular que emite tensão analógica na saída “Vout”, esse efeito é conhecido como Efeito Hall.

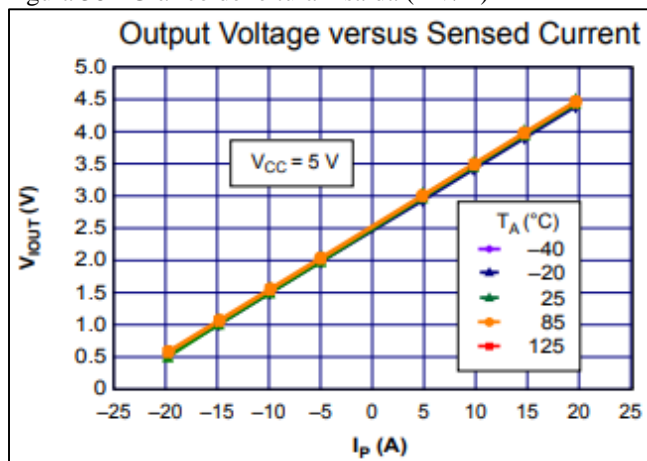
Figura 37 - Funcionamento ACS712



Fonte: SUNROM (2022)

O sensor emite em sua saída analógica 100mV/A, considerando 2,5V a corrente 0A, conforme mostra o gráfico da figura 38 que mostra a faixa de trabalho do sensor de 20A. O motor monitorado possui corrente máxima de 11A, necessitando do ACS712 de 20A,

Figura 38 - Gráfico de leitura x saída (mV/A)

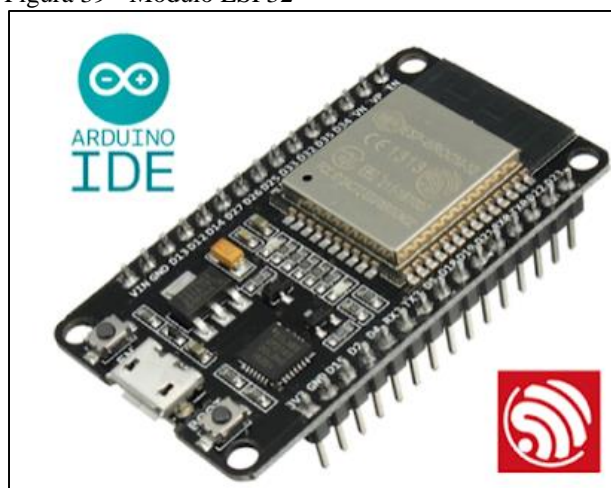


Fonte: ALLEGRO MICROSYSTEMS (2020)

### 3.4.6 ESP32

O microcontrolador escolhido para o sistema embarcado é o ESP32, para isso foi utilizado o módulo ESP32 DevKit v1, apropriado para comunicação *bluetooth* e *Wi-Fi*, desenvolvimento da programação e utilização da mesma em *protoboard*. O módulo ESP32, apresentado na figura 39, possui 25 pinos de entrada ou saída de uso geral, GPIO (*General-Purpose Input/Output*), dois pinos GND (*Ground*), um pino de 3,3V, um pino de alimentação 5V e o habilitador EN (*Enable*).

Figura 39 - Módulo ESP32

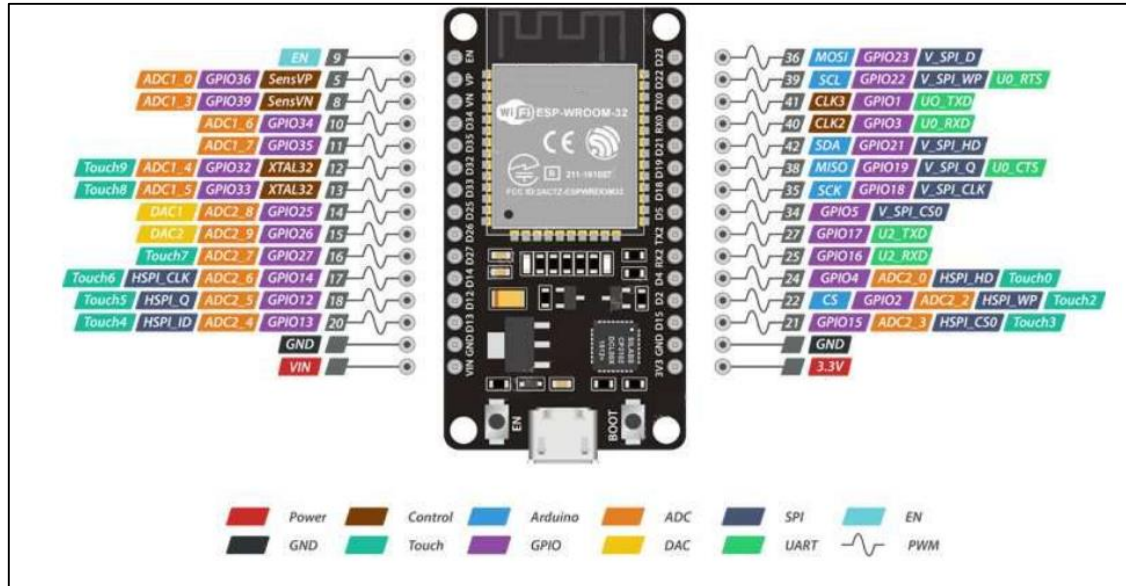


Fonte: KOYANAGI (2018)

Entre os pinos de GPIO, possui dezoito canais ADC (conversor analógico-digital), dois canais DAC (conversor digital-analógico), três canais de interface SPI (interface serial periférica), três canais de interface UART (Recepção/Transmissão Universal Assíncrona), dois canais de interface I2C, dezesseis canais de saída PWM (Modulação por Largura de Pulso), dez

canais com detecção capacitiva e dois canais de interface I2S (*Inter-IC Sound*). A figura 40 apresenta a relação dos pinos com suas respectivas funções

Figura 40 - Pinout ESP32



Fonte: KOYANAGI (2018)

Para iniciar a elaboração do sistema embarcado, foi utilizado os pinos relacionados no quadro 3, que apresenta também suas respectivas funções.

Quadro 3 - Relação de pinos

VIN	5 VCC
3.3V	3,3 VCC
GPIO4	Data - DS18B20
GPIO5	CS – Micro SD
GPIO12	Botão 1
GPIO13	Botão 2
GPIO14	Botão 3
GPIO15	Leitura para horímetro
GPIO18	SCK – Micro SD
GPIO19	MISO – Micro SD
GPIO21	Serial Data
GPIO22	Serial Clock
GPIO23	MOSI – Micro SD
GPIO32	Acionamento do Relé
GPIO34	Leitura ACS712
GND	0 VCC

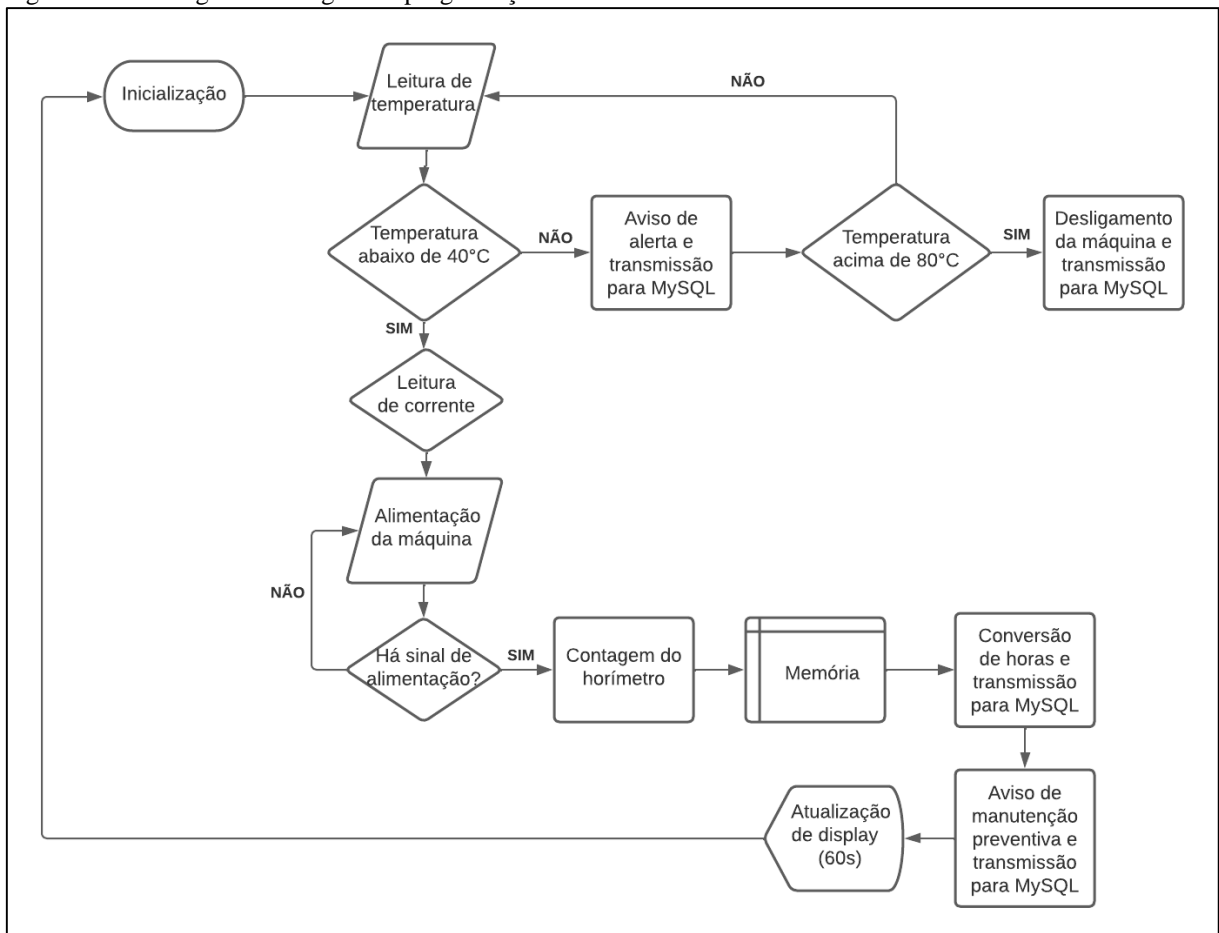
Fonte: Autor (2022)

### 3.5 Elaboração do Sistema Embarcado

Utilizando o programa Arduino IDE, foi feito a programação em linguagem C para cumprir a lógica representada no fluxograma da figura 41, onde a inicialização demonstra o sistema conectada a energia, realizando leitura continuamente de temperatura e corrente, emitindo avisos ou ações em determinadas situações que serão abordadas no decorrer do capítulo. Entra em um ciclo infinito, fazendo a leitura de máquina em produção e posteriormente iniciar a contagem do horímetro, emitindo avisos de manutenção ao chegar na quantia de horas desejada.

Para iniciar a programação no Arduino IDE, com o programa aberto, foi necessário instalar a biblioteca do ESP32 entrando na aba “Arquivo”, entrar em “Preferências” e colar a URL “[https://dl.espressif.com/dl/package\\_esp32\\_index.json](https://dl.espressif.com/dl/package_esp32_index.json)” no campo “URLs adicionais para Gerenciadores de Placas”. Após a instalação da biblioteca do ESP32 deve-se ir em “Ferramentas” e clicar em “Gerenciar Bibliotecas...”, e no campo de digitação pesquisar pelas bibliotecas a serem utilizadas. O código de programação está disponível no repositório digital <https://github.com/jeancarlosengeletrica/maintenancecontrol>, dentro do arquivo “Código Fonte – Maintenance Control.txt”.

Figura 41 – Fluxograma da lógica de programação



Fonte: Autor (2022)

Para fazer a leitura de temperatura foram incluídas as bibliotecas “OneWire.h” , utilizada para fazer a comunicação pelo cabo data do sensor DS18B20 e “DallasTemperature.h” para interpretação dos dados do sensor. A biblioteca “LiquidCrystal\_I2C.h” comunica e interpreta o display, a biblioteca “EEPROM.h” é utilizada para manipular a memória interna do ESP32. Para leitura do sensor de corrente ACS712 foram utilizadas a biblioteca “Wire.h” para comunicação do sensor e a “EmobLib.h” que faz a leitura e interpretação da corrente.

As bibliotecas “FS”, “SD” e “SPI” foram utilizadas neste projeto para transmitir e gravar informações em um módulo de cartão microSD, para conexão Wi-Fi e transmissão de dados foram utilizados as bibliotecas “HTTPClient” e “WiFi”, baseadas no artigo “ESP32 Data Logging Temperature to MicroSD Card”, (SANTOS, 2018), e a biblioteca “MySQL\_Generic” para comunicar o ESP32 com o banco de dados da empresa, adaptado do artigo “MySQL com Arduino ESP8266, ESP32...”, (SUHANKO, 2022).

Após a inclusão das bibliotecas devem ser feitas as definições do sistema, como valores inteiros, pinos, dados booleanos e pontos flutuantes. Para o acesso ao banco de dados foram definidos o usuário, senha, porta do servidor e o endereço de IP (Internet Protocol), além de definir a rede e senha do WiFi. Na utilização do ACS712 foi definido o valor 3,33 como calibração do sensor de corrente para que a leitura seja próxima ao de um amperímetro convencional, utilizando a função “EnergyMonitor” da biblioteca “EmonLib” para definir uma variável de leitura de corrente, adequado do artigo “Medidor de corrente AC com ACS712 e Emonlib”, (AMARAL, 2017).

A função ‘int’ serve para poder armazenar qualquer valor inteiro durante a programação do código, para leitura de temperatura já foram definidos os pinos 4 para entrada de dados de temperatura e 32 para relé do motor, para armazenar o valor da temperatura foi utilizado a função ‘float’ que cria um ponto flutuante e preciso. A variável ‘temp’ é empregada como comunicação One Wire e cria o ponto ‘sensor’ como iniciador do DS18B20.

Depois de todas as definições de valores e pinos serem declaradas no Arduino IDE, foi criado uma chamativa “void IRAM\_ATTR ISR\_Timer()” para contabilizar as horas do horímetro, para isso é utilizado a contagem em forma de cascata. Recebendo sinal de nível estado lógico alto, originada da leitura digital no pino GPIO15, ou leitura de corrente acima de 1A, inicia a contagem de segundos e ao chegar em 59s inicia a contagem de minutos e reinicia contagem de segundos, ao chegar em 59 min inicia a contagem de horas e reinicia a contagem

de minutos, além de iniciar a contagem de horas da manutenção de 80 horas, 250 horas e 1000 horas.

Para fazer o envio de informações ao banco de dados, foram criadas chamativas que enviam seus respectivos dados, como aviso relacionados a manutenções, aviso de verificação de contato, verificação de motor, avisos de temperatura e envio de leituras de temperatura e corrente.

Em “void setup()” é definido as configurações iniciais do sistema, começando pelas configurações de WiFi onde é utilizado a rede e senha. Na função ‘pinMode’ estabelece se o pino ou variável é entrada (Input) ou saída (Output), inicialmente configurado o estado do relé do motor em nível lógico alto para que esteja desligado até a inicialização do ciclo, deste modo permitindo o funcionamento do motor até que a temperatura exceda seu limite.

Nas configurações iniciais estão contidas as inicializações do display, sensor DS18B20, Memória EEPROM de 512 bytes, faz a leitura inicial das memórias, para quando houver interrupção de energia do ESP32, a contagem volte ao seu último ponto e após configura a interrupção timer para fazer a contagem de horas. Para que possa ser feito a gravação no microSD é inicializado o cartão por ‘SD.begin()’ e em seguida o sistema verifica se o cartão está inserido e se há alguma falha, enquanto não estiver pronto o sistema ficará lendo até que encontre o cartão pela função ‘return’. Assim que estiver pronto, o sistema verifica se o arquivo existe, em caso negativo cria um novo arquivo, para em seguida transformar as horas do horímetro em caracteres, pela função ‘String’, para poder gravar no arquivo.

O tratamento “void loop()” é o ciclo de funcionamento do ESP32, para seguir o fluxograma da figura 37, inicia-se colocando as tratativas de temperatura, definindo referência de temperatura, leitura e envio de leitura para o banco de dados. Baseando na publicação “Sensor de temperatura Arduino DS18B20 – Comunicação Onewire”, (STRAUB, 2020), adaptou-se o código desenvolvendo uma função ‘if’ para quando a temperatura estiver  $-127^{\circ}\text{C}$  emitir na IHM um aviso e simultaneamente transmitir para a banco de dados, para verificar o funcionamento do sensor, considerando que o mesmo se não tiver alimentado ou danificado apresenta esta temperatura, posteriormente é gravado a falha/aviso na memória 2.

Quando a temperatura estiver acima de  $40^{\circ}\text{C}$ , referência de funcionamento de motores elétricos, e abaixo de  $80^{\circ}\text{C}$  emitir na IHM e transmitir ao banco de dados um aviso, mantendo o motor ligado e gravando a falha/aviso na memória 2.

Desenvolvida uma terceira condição, para caso haja superaquecimento maior de  $80^{\circ}\text{C}$ , mostre na IHM e transmita ao banco de dados um aviso, gravando a mensagem na memória 2 e desligando o motor para evitar maiores danos.

Para a contagem de horas das manutenções preventivas foram criadas três condições, quando completar o horímetro da sua respectiva manutenção reinicia seu contador, emite aviso na IHM e transmite a informação para o banco de dados. A manutenção de 1000 horas requer troca de peças, e para isto é necessário que tenha em estoque as peças, desenvolvido uma condição 'if' para quando atingir 80% das horas totais, comunicar via sistema online através do banco de dados.

Para antecipar futuros problemas relacionados a leitura de sinal de máquina em produção e da leitura de corrente, foram desenvolvidas duas condições. Quando a leitura de corrente estiver maior que 1A e o sinal digital que vem da contatora estiver em estado de nível lógico baixo transmite a informação para o banco de dados, pois entende-se que a contatora ou o contato está danificado. Quando a leitura estiver menor que 1A e o sinal digital da contatora estiver em nível alto deve-se verificar o funcionamento do motor.

No tratamento 'ihm()' estão definidos os botões e telas que apresentarão no display da IHM, iniciando tela de espera que apresenta no display a máquina que está aplicada o sistema e em seguida define os botões 1, 2 e 3 como leitura digital dos pinos GPIO12, GPIO13 e GPIO14, respectivamente. Quando o botão 1 for acionado elevará o estado em nível lógico alto, apresentando no display da IHM o horímetro total, quando botão 2 for pressionado, estará em nível lógico alto e apresentará a tela de avisos com o último aviso recebido, mencionados no quadro 2. Quando o botão 3 for acionado apresentará a tela de medição de temperatura e de corrente, para redefinir o último aviso é necessário pressionar botão 2 e botão 3.

Para a gravação do microSD foram adaptados de "ESP32 Data Logging Temperature to MicroSD Card", (SANTOS, 2018), onde o tratamento 'escreverarquivo' é utilizado para escrever e o tratamento 'acrescentar' para escrever na próxima linha do arquivo criado.

### **3.6 Implementação em máquina**

O motor principal da máquina M200, figura 42, foi utilizado como referência para leitura de máquina em produção. O sensor de temperatura DS18B20 foi instalado na caixa de conexão na entrada ao lado do chicote do motor, foi colado o sensor na entrada para que a haste não ocasione um curto circuito nos barramentos.

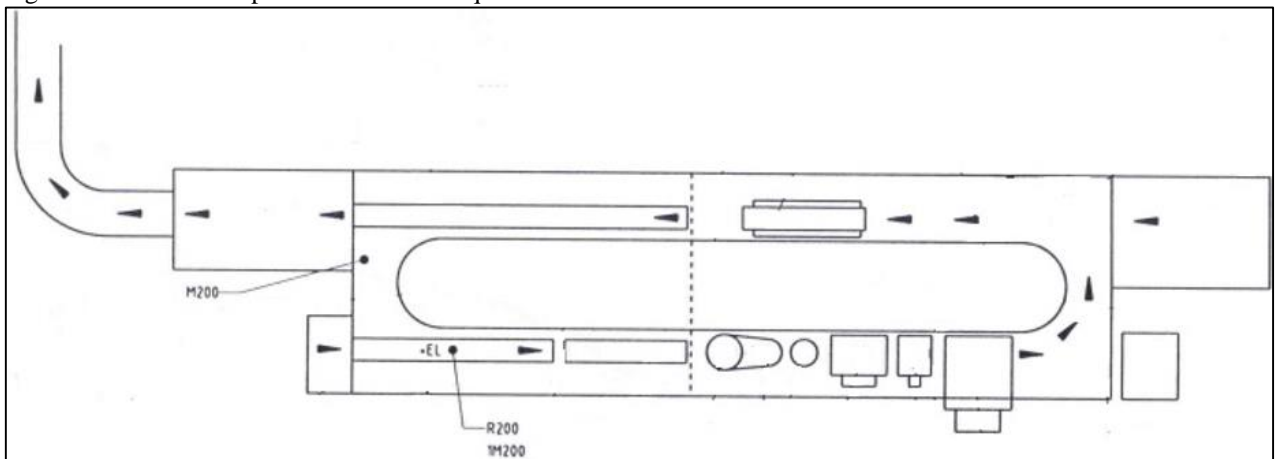
Figura 42 - Aplicação do DS18B20



Fonte: Autor (2022)

O motor está localizado na figura 43, portanto foram usados 7 metros de cabo do painel para o motor através da caixa de passagem identificada pela figura 44.

Figura 43 - Desenho superior retirado do esquema elétrico



Fonte: Autor (2022)

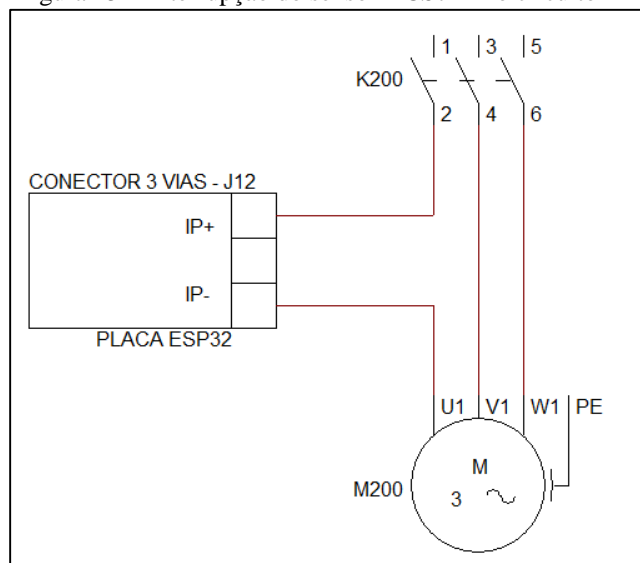
Figura 44 - Painel e caixa de passagem



Fonte: Autor (2022)

Para leitura de corrente foi necessário abrir o circuito da fase U1 do motor conforme figura 45, para assim realizar a leitura de corrente do motor M200.

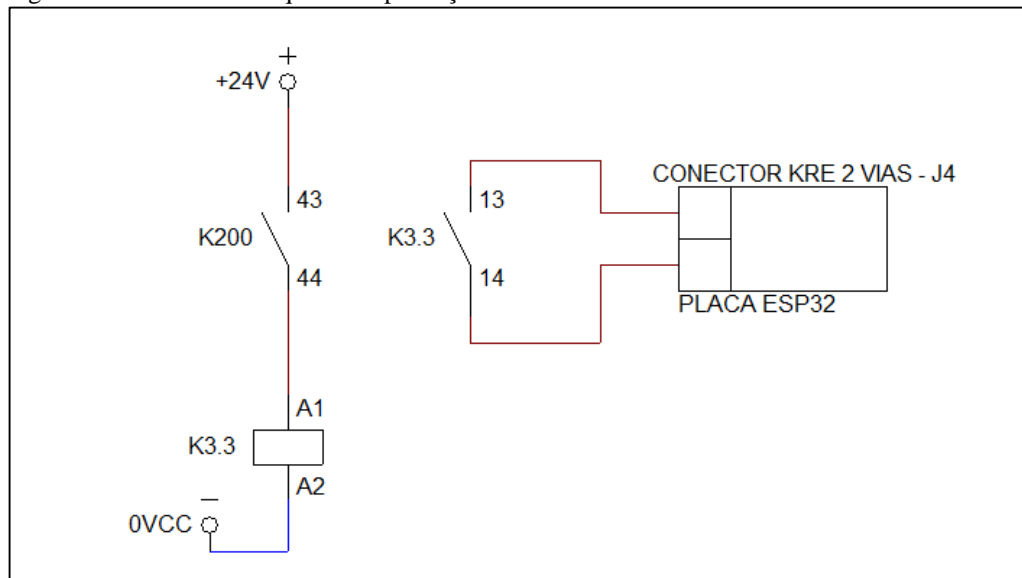
Figura 45 – Interrupção do sensor ACS712 no circuito



Fonte: ELABORADO PELO Autor (2022)

Utilizado o contato NO 43-44 da contatora K200 que possui sinal 24VCC para acionar um relé que fecha o contato 13-14 enviando sinal de nível lógico alto para o ESP32, conforme figura 46.

Figura 46 - Leitura de máquina em produção

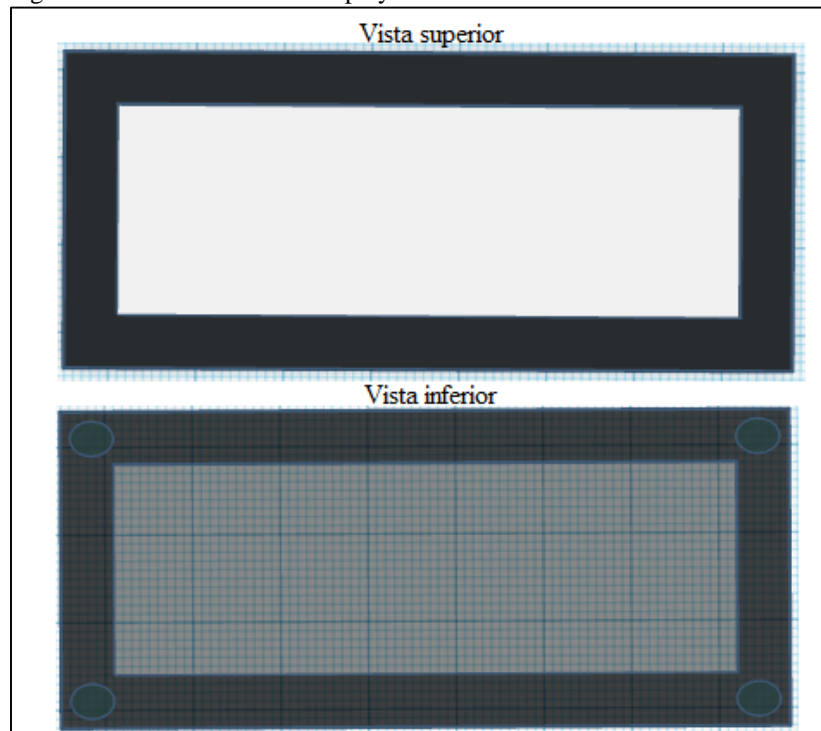


Fonte: Autor (2022)

### 3.7 Case para placa de aquisição de dados

Para alocar a placa de aquisição de dados foi utilizado uma caixa de passagem em PVC com dimensões de 190 x 155 x 94 mm (comprimento x largura x altura), recortando a tampa para que possa ser colocado o display. Com o *software* Tinkercad foi criado o protótipo tridimensional representado pela figura 47, para melhor acabamento do display, com dimensões de 83 x 36 mm externa e 71 x 24 mm interna, com uma altura de 2,2 mm. Realizado também um vazamento cilíndrico de 5 mm de diâmetro por 1,4 mm de altura para esconder os parafusos do display.

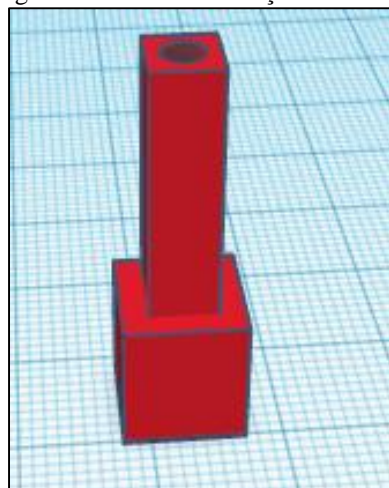
Figura 47 - Acabamento do Display



Fonte: AUTOR(2022)

Projetado uma haste de fixação para a placa dos botões que contemplam a IHM, apresentado na figura 48, a haste possui uma base de 81 mm<sup>2</sup> e uma torre de 25 mm<sup>2</sup>, com um furo de 3 mm de diâmetro para o parafuso, e uma altura total de 30 mm.

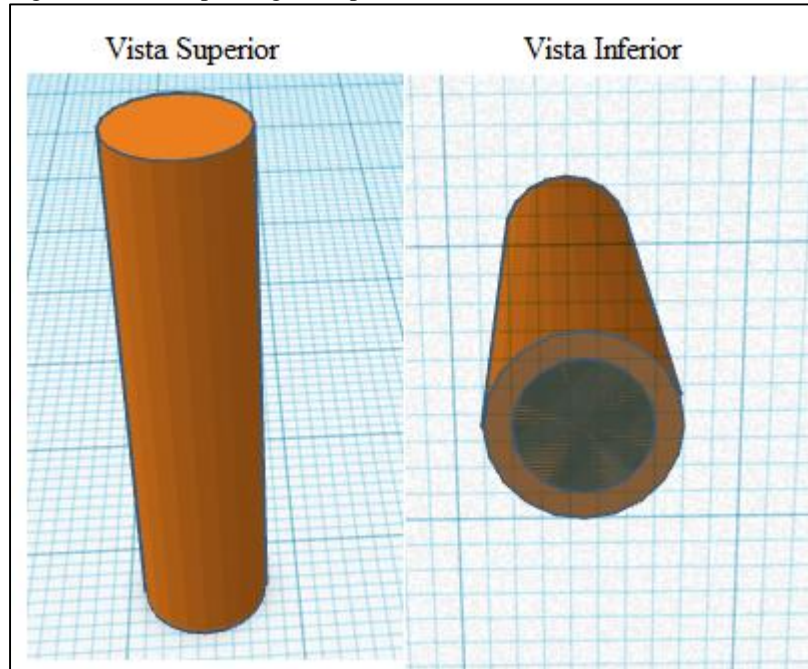
Figura 48 - Haste de Fixação



Fonte: Autor (2022)

Para o acionamento dos botões foram feitas três hastes prolongadores de 30 mm de altura e diâmetro de 7 mm, com furo de 5 mm para encaixe do botão, conforme é apresentado na figura 49.

Figura 49 - Haste prolongadora para botão



Fonte: Autor (2022)

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo foram abordados os resultados obtidos no projeto utilizando a metodologia exposta no capítulo anterior.

### 4.1 Implementação do sistema

Para abrigar a placa de aquisição de dados foi utilizado uma caixa de passagem em PVC com dimensões de 190 x 155 x 94 mm (comprimento x largura x altura). A implementação do sistema na linha brochura, Monostar Binder, foi feita internamente no painel principal da máquina, utilizando o case e as impressões da seção 3.6. A figura 50 apresenta o case instalado no painel.

Figura 50 - Implementação case

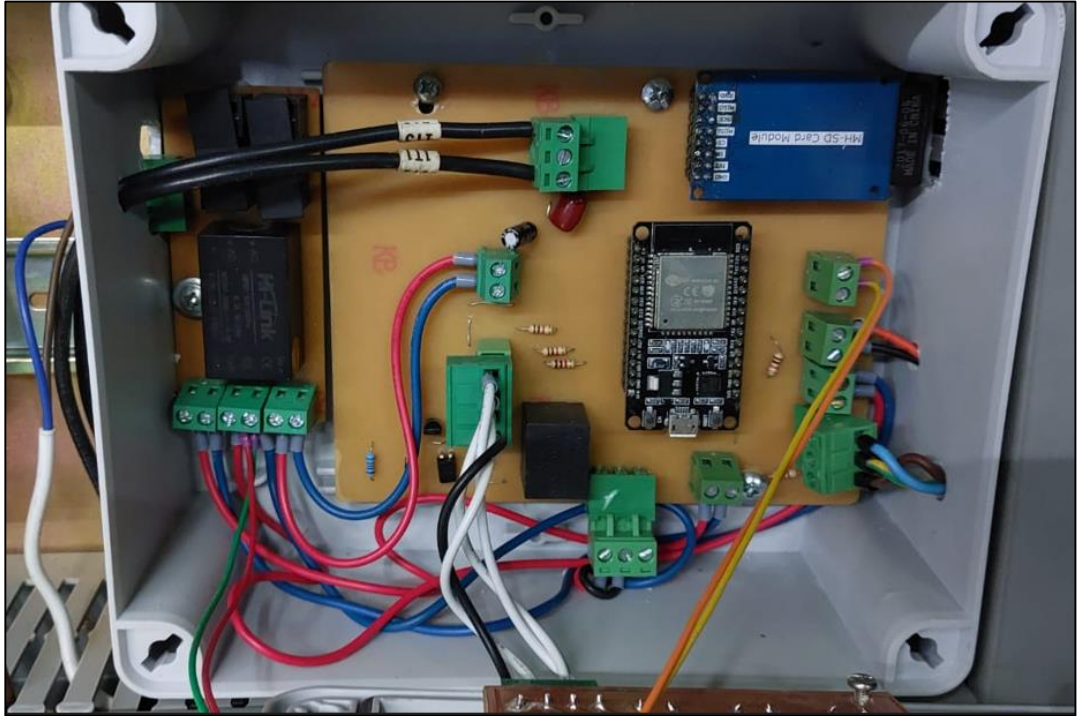


Fonte: Autor (2022)

Desta forma, o acesso ao case e o sistema de controle delimita-se apenas aos funcionários da manutenção da empresa, pois os mesmos são os únicos que possuem chaves e ferramentas para acessá-la.

A figura 51 exhibe a parte interna do case, onde é possível verificar o cabeamento e a placa de aquisição de dados.

Figura 51 - Interior do case



Fonte: Autor (2022)

Para leitura de máquina em produção, foi utilizado um relé 24VDC, no compartimento abaixo do case, para fechar o contato 3,3V, como apresentado na figura 52.

Figura 52 - Relé de acionamento para leitura



Fonte: Autor (2022)

A figura 53 apresenta as telas de aviso quando atingido 80 horas, 250 horas e 1000 horas, para esse teste foi diminuído a contagem de horas na programação lógica.

Figura 53 - Telas de aviso de manutenção



Fonte: Autor (2022)

A figura 54 apresenta as três telas que são acessadas pelos botões da IHM, sendo elas leitura de corrente e temperatura, avisos e horímetro.

Figura 54 - Telas de acompanhamento IHM



Fonte: Autor (2022)

## 4.2 Sistema Web

Depois de implementado o sistema na máquina foi utilizado o sistema de manutenção apresentado na figura 55, e aperfeiçoado junto a equipe de Tencologia das Informações da empresa.

Figura 55 - Sistema de Manutenção Edelbra



Fonte: Autor (2022)

No código de programação compilado no ESP32 foi utilizada comunicação WiFi com transmissão de dados para uma tabela do banco de dados com a função 'MySQL\_Query', para que pudesse receber as informações foi necessário adaptar o código PHP (*Hypertext Preprocessor*) do sistema de manutenção existente. O acesso a página de acompanhamento se dá pela aba 'Operações' e em seguida 'Máquinas', até chegar na máquina corresponde, conforme mostra a figura 56.

Figura 56 - Acesso a máquina SysMain



Fonte: Autor (2022)

A página de acompanhamento, apresentada na figura 57, recebe no momento a leitura de temperatura de 24,73°C, corrente de 0,07A e sem avisos. O horímetro da máquina apresenta 115 horas, corresponde ao número de horas em funcionamento incluindo a fase de testes da placa de aquisição,

Figura 57 - Página de monitoramento Monostar

Fonte: Autor (2022)

A leitura de horas apresenta no sistema web é definido pelo código “<input type="text" class="form-control " disabled="" id="horas" required="" name="gethoras" value="115">”, necessitando da variável gethoras para receber o valor.

Para que fosse possível ver a temperatura em tempo real, foi desenvolvido o código html “<input type="text" class="form-control" id="temp" required="" name="readtemp" disabled="" value="24.73">”, onde o valor 24.73 é definido pela leitura da variável readtemp. Limitado as leituras de corrente e temperatura para que sejam feitas a cada 5 minutos, a fim de diminuir fluxo abundante de informações. O mesmo ocorre com a leitura de corrente, onde o código “<input type="text" class="form-control" id="corrente" required="" name="readcurrent" disabled="" value="0.07">” é responsável pela leitura.

Ao receber um aviso do ESP32, imediatamente, o sistema emite um aviso pelo código “<input type="text" class="form-control" id="mensagem" required="" name="message" disabled="" value="Sem aviso">”, onde no banco de dados recebe a informação e filtra o valor recebido para assim designar a mensagem de aviso no sistema web.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho apresentou o estudo e o desenvolvimento de uma interface às aplicações de ferramentas e tecnologias encontradas na IoT, para fundamentar a aplicação dos conceitos da Indústria 4.0 no setor de manutenção de uma indústria. A primeira etapa para aplicar tais ferramentas foi iniciar o código de programação base, em linguagem C, desenvolvendo uma lógica sequencial que parte da leitura de temperatura e corrente, em paralelo cria-se uma contagem de horas para contabilizar manutenção preventiva, dispondo mensagem no display da IHM e transmitindo informações ao servidor da empresa, por meio de comunicação WiFi e gravação em banco de dados.

Com o desenvolvimento da placa de aquisição de dados e a implementação na máquina, foi comprovado o funcionamento do sistema embarcado e principalmente a comunicação entre o microcontrolador e o servidor da empresa, sendo possível a ampliação do sistema de controle de manutenção para as outras máquinas da indústria.

Ao desenvolver o sistema embarcado foi necessário buscar informações e aplicações semelhantes, adaptando o código para seu propósito, com isso pode-se perceber que independente da finalidade do sistema embarcado é possível usufruir de diversos periféricos, agregando cada vez mais o projeto.

Compreendeu-se que a Internet das Coisas aplicadas a Manutenção 4.0 é uma área de amplo espaço para estudo e aplicação, permitindo constantemente a elaboração e aperfeiçoamento de sistemas na manutenção e indústria 4.0. Desta forma, pode-se ressaltar a importância de se obter um controle moderno nas empresas, pois ele beneficia os responsáveis da manutenção e até mesmo os colaboradores, para que tenham prático acesso a informações precisas no momento das manutenções e tomada de decisões.

### 5.1 Perspectivas futuras

Pretende-se primeiramente estender o sistema de controle de manutenção na maior parte das máquinas da empresa, excluindo apenas máquinas que são utilizadas menos de duas vezes por mês, estas muitas vezes não possuem plano de manutenção preventiva.

Continuar o desenvolvimento da ferramenta de controle de troca de peças, utilizando um campo de digitação para colocar o código de cadastro da peça, permitindo que o sistema realize uma varredura no banco de dados e faça a contagem da vida útil desta peça caso ela já tenha sido trocada, caso contrário abre outro campo permitindo a inserção da vida útil, para assim avisar com antecedência quando estiver chegando próximo do fim da durabilidade.

Pretende-se também buscar aperfeiçoamentos no sistema de controle de manutenção, estudando pontos críticos de cada máquina e posteriormente controlá-los com sensores e lógica de programação, com o propósito de antecipar falhas e identificar defeitos intermitentes.

## REFERÊNCIAS

- ACS712. **Allegro MicroSystems**, 30 jan. 2020. Disponível em: < <https://www.allegromicro.com/en/products/sense/current-sensor-ics/zero-to-fifty-amp-integrated-conductor-sensor-ics/acs712>>. Acesso em: 12 jun. 2022.
- ALMEIDA, P. S. **INDÚSTRIA 4.0: princípios básicos, aplicabilidade e implantação na área industrial**. São Paulo, Érica, 2019.
- AMARAL, H. Medidor de corrente AC com ACS712 e Emonlib. **Filipeflop**, 17 out. 2017. Disponível em: < <https://www.filipeflop.com/blog/medidor-de-corrente-ac-acs712-emonlib>>. Acesso em: 10 jun. 2022.
- Ataques de ransomware superam a casa de 623 milhões em 2021. **CISO Advisor**, 17 fev. 2022. Da Redação. Disponível em: < <https://www.cisoadvisor.com.br/ataques-de-ransomware-superaram-a-marca-de-623-milhoes-em-2021>>. Acesso em: 20 mai. 2022.
- Caminho até a Indústria 4.0: os destaques das revoluções industriais **A Voz da Indústria**, 18 set. 2020. Disponível em: < <https://avozdaindustria.com.br/industria-40-totvs/caminho-ate-industria-40-os-destaques-das-revolucoes-industriais>>. Acesso em: 17 jun. 2022.
- Current Sensor 20A - ACS712. **Sunrom**. Disponível em: < <https://www.sunrom.com/p/current-sensor-20a-acs712>>. Acesso em: 04 jun. 2022.
- DE FREITAS, C.A. A evolução da segurança no trabalho aplicada na manutenção industrial 4.0. **REMIPE-Revista de Micro e Pequenas Empresas e Empreendedorismo da Fatec Osasco**, v. 6, n. 2, p. 229-251, 2020.
- DE JESUS, G.P. DESAFIOS DA MANUTENÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0. **Em Foco: Revista da Faculdade de Tecnologia SENAI" Roberto Mange"**, v. 2, n. 1, p. 21-30, 2022.
- DIAS, G.M. O que é Indústria 4.0?. **Doutor IoT**, São Paulo, 28 de jun. de 2022. Disponível em: <<https://www.doutoriot.com.br/negocios/industria-40/o-que-e>>. Acesso em: 28 jun. 2022.
- DS18B20 - Datasheet. **Maxim Integrated**, 2019. Disponível em: < <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>>. Acesso em: 10 jun. 2022.
- DS18B20 Temperature Sensor. **Componentrs101**, 07 mai. 2018. Disponível em: < <https://components101.com/sensors/ds18b20-temperature-sensor>>. Acesso em: 04 jun. 2022.
- FERNANDES, A. de F. **Supply chain e o impacto da impressora 3D**. São Paulo, SP, 2014.
- GRAGLIA, M. A. V; LAZZARESCHI, N. A indústria 4.0 e o futuro do trabalho: tensões e perspectivas. **Revista Brasileira de Sociologia-RBS**, v. 6, n. 14, 2018.
- GREGÓRIO, G. P. F; SILVEIRA, A.M. **MANUTENÇÃO INDUSTRIAL**. Porto Alegre, Editora Sagah, 2018.
- GOEKING, W. Da máquina a vapor aos softwares de automação. **O setor elétrico**, São Paulo, v. 52, p. 70-77, 2010.
- KOYANAGI, F. ESP32: Detalhes internos e pinagem. **Fernando K Tecnologia**, 06 mar. 2018. Disponível em: < <https://www.fernandok.com/2018/03/esp32-detalhes-internos-e-pinagem.html>>. Acesso em: 08 jun. 2022.

QUINTINO, L. F.; DA SILVEIRA, A. M.; DE AGUIAR, F. R.; RUWER, L. M. E.; DE QUADROS, M. L. **INDÚSTRIA 4.0**. Porto Alegre, Editora Sagah, 2019.

MORAIS, I. S. de; GONÇALVES, P. F. de; LEDUR, C. L.; JUNIOR, R. S. C.; SARAIVA, M. O.; FRIGERI, Sandra R. **INTRODUÇÃO A BIG DATA E INTERNET DAS COISAS (IOT)**. Porto Alegre, Editora Sagah, 2018.

PASQUINI, N. C. Revoluções Industriais: uma abordagem conceitual. **Revista Tecnológica da Fatec Americana**, v. 8, n. 01, p. 29-44, 2020.

RODRIGUES, L. C.; DE QUEIROGA, A. P. G.; MILHOSSI, J. F.. Indústria 4.0 e a transformação digital Industry 4.0 and digital transformation. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 2, p. 14093-14101, 2022.

SACOMANO, J. B.; GONÇALVES, R. F.; DA SILVA, M. T.; BONILLA, S. H.; SÁTYRO, . C. **INDÚSTRIA 4.0, conceitos e fundamentos**. Editora Edgard Blucher, 2018.

SANTOS, B. P. Industry 4.0: challenges and opportunities. **Revista Produção e Desenvolvimento**, 2018.

SANTOS, R. **ESP32 Data Logging Temperature to MicroSD Card**. 2018. Disponível em: < <https://randomnerdtutorials.com/esp32-data-logging-temperature-to-microsd-card>>. Acesso em: 17 ago. 2022.

STRAUB, M. G. Sensor de temperatura Arduino DS18B20 – Comunicação Onewire. **UsinaInfo**, 15 jan. 2020. Disponível em: < <https://www.usinainfo.com.br/blog/sensor-de-temperatura-arduino-ds18b20-comunicacao-onewire>>. Acesso em: 04 jun. 2022.

SUHANKO, D. **MySQL com Arduino ESP8266, ESP32....** 2018. Disponível em: <<https://www.dobitaobyte.com.br/mysql-com-arduino-esp8266-esp32>>. 2022. Acesso em 22 set. 2022

TELES, J. O Planejamento e Controle da Manutenção na Indústria 4.0. **ENGETELES**, 5 de dezembro de 2017. Disponível em: < <https://engeteles.com.br/pcm-na-industria-4-0>>. Acesso em: 01 jun. 2022.