



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E  
TECNOLOGIA DO AMAZONAS  
CAMPUS MANAUS DISTRITO INDUSTRIAL  
TECNÓLOGO EM ELETRÔNICA INDUSTRIAL**

**JOADSON FARIAS VIANA**

**PROTÓTIPO DE UM SISTEMA DE MONITORAMENTO REMOTO DE  
UM COMPRESSOR INDUSTRIAL**

**MANAUS-AM  
2023**

**JOADSON FARIAS VIANA**

**PROTÓTIPO DE UM SISTEMA DE MONITORAMENTO REMOTO DE  
UM COMPRESSOR INDUSTRIAL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à banca examinadora do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas – IFAM, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Eletrônica Industrial.

**Orientadora:** Prof. Dra. Laura Michaela Batista Ribeiro.

**MANAUS-AM  
2023**

### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

V614p	<p>Viana, Joadson Farias. Protótipo de um sistema de monitoramento remoto de um compressor industrial / Joadson Farias Viana. — Manaus, 2023. 54f.: il. color.</p> <p>Monografia (Graduação) — Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, <i>Campus</i> Manaus Distrito Industrial, Curso de Tecnologia em Eletrônica Industrial, 2023. Orientador: Prof.<sup>a</sup> Laura Michaela Batista Ribeiro.</p> <p>1. Sistema de monitoramento. 2. Medição. 3. Microcontrolador ESP 32. 4. Pataforma Blynk. I. Ribeiro, Laura Michaela Batista. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas. III. Título.</p>
CDD 621.381	

Elaborada por Oziane Romualdo de Souza (CRB11/ nº 734)



**Ata de Defesa** de Trabalho Final de Graduação do acadêmico **JOADSON FARIAS VIANA**, sobre o tema: "PROTÓTIPO DE UM SISTEMA DE MONITORAMENTO REMOTO DE UM COMPRESSOR INDUSTRIAL".

Aos vinte e sete dias do mês de março de dois mil e vinte e três, às 18:45 hs horas no laboratório de metrologia do Instituto Federal do Amazonas campus Manaus-Distrito Industrial, realizou-se a Defesa Pública de TCC do formando **Joadson Farias Viana**, discente do Curso Superior de Tecnologia em Eletrônica Industrial, a qual é intitulada: "PROTÓTIPO DE UM SISTEMA DE MONITORAMENTO REMOTO DE UM COMPRESSOR INDUSTRIAL". A composição da Banca Examinadora contou com três profissionais: Prof. Dra. Laura Michaela Batista Ribeiro, orientadora e presidente da mesma, Prof<sup>o</sup>. Esp. Fabian Bezerra de Oliveira e Prof<sup>o</sup> Me. Jose Geraldo de Pontes e Souza, examinadores. A presidência da mesa deu início aos trabalhos, seguindo metodologia apropriada. Após a apresentação, a Banca Examinadora se reuniu para deliberação, divulgando o resultado de sua avaliação: outrossim, o acadêmico **Joadson Farias Viana**, obteve a aprovação com a média 9,0 (nove virgula zero), tendo sido dado ao formando um prazo de 15 (quinze) dias para efetivar as correções no trabalho. A sessão foi encerrada às 20:40 horas. Eu, Laura Michaela Batista Ribeiro, coordenadora do Curso de Tecnologia em Eletrônica Industrial, lavrei a presente ata, que depois de lida e aprovada foi assinada por mim, pelos membros da Banca Examinadora e pelo formando Joadson Farias Viana.

Manaus, 27 de março de 2023.

Orientador (a): Laura Michaela B. Ribeiro

Examinador (a): Fabian Bezerra de Oliveira

Examinador (a): Jose Geraldo de Pontes e Souza

Formando (a): Joadson Farias Viana

Secretário (a): Joelma Martins de Souza

## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu Deus o autor e consumidor da minha fé, à minha família, a minha esposa que esteve sempre ao meu lado me apoiando em tudo, a minha orientadora Prof. Dra. Laura Michaella Batista Ribeiro, aos professores e colegas do Campus Manaus Distrito Industrial.

Ao meu amigo Francisco Araújo pelo apoio e companheirismo, e a todos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização desse trabalho.

## RESUMO

O presente documento tem a finalidade de apresentar o desenvolvimento de um protótipo de um sistema de monitoramento remoto de um compressor a fim de auxiliar na manutenção preventiva do equipamento. Este sistema tem a capacidade de monitorar de forma remota a temperatura, tensão elétrica e corrente elétrica através de sensores e circuitos condicionados para fazer a leitura das grandezas relacionadas aos compressores. O sistema é apresentado por meio de um protótipo, constituído por um microcontrolador ESP 32 que é responsável por calcular e transmitir os dados via internet para um servidor cloud blynk da plataforma blynk que foi utilizada para realização do monitoramento. Como resultado final, foi obtido um protótipo capaz de realizar a captura e monitoramento das variáveis de um compressor, permitindo o monitoramento remoto dos testes, apresentando resultados em tempo real, por meio de um dashboard amigável. Os resultados obtidos a partir das simulações que foram feitas no trabalho são satisfatórios, pois confirmou-se que o sistema é capaz de ler os valores das variáveis através dos sensores e circuitos condicionados, enviando dados utilizando o microcontrolador ESP 32, o qual através de uma interface de monitoramento, é capaz de apresentar os resultados das variáveis em tempo real, o que conclui-se que o sistema pode auxiliar em ações eficazes quanto a manutenção do equipamento.

**Palavras-chave:** Esp 32. Medição. Plataforma Blynk. Sistema de Monitoramento.

## **ABSTRACT**

This document aims to present the development of a prototype of a remote monitoring system for a compressor in order to assist in the preventive maintenance of the equipment. This system has the ability to remotely monitor the temperature, voltage and current through sensors and conditioning circuits to read the magnitudes related to the compressors. The system is presented through a prototype, consisting of an ESP 32 microcontroller that is responsible for calculating and transmitting data via the internet to a blynk cloud server on the blynk platform that was used to carry out the monitoring. As a final result, it was to provide a prototype capable of capturing and monitoring the variables of a compressor, allowing remote monitoring of tests, presenting results in real time, through a friendly panel. The results obtained from the simulations that were made in the work are strong, since it is confirmed that the system is able to read the values of the variables through the sensors and conditioned circuits, sending data using the ESP32 microcontroller, which through a monitoring interface, is able to present the results of the variables in real time, which concludes that the system can help in effective actions regarding equipment maintenance.

**Keywords:** Esp 32. Measurement. Blynk Platform. Monitoring System.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Compressor com acionamento por motor elétrico	16
Figura 2 - Esquema de Ligação do Termopar	18
Figura 3 - Curvas de comportamento dos termistores NTC e PTC	19
Figura 4 - Diodo polarizado no sentido inverso.	20
Figura 5 - Sensor LM35	21
Figura 6 - Corrente AC x DC	22
Figura 7 - Corrente em um condutor sem um campo magnético presente	22
Figura 8 - Corrente em um condutor com a presença de um campo magnético perpendicular	23
Figura 9 - Sensor de corrente de Circuito Aberto	23
Figura 10 - Sensor de corrente de Circuito Fechado	24
Figura 11 - Transformador de Corrente Comum	25
Figura 12 - Circuito com Resistor Shunt para medir corrente elétrica	26
Figura 13 - Ilustração da Lei de Faraday	27
Figura 14 - Sensor de corrente SCT-013	27
Figura 15 – Cálculo de divisor de tensão	28
Figura 16 - Circuito divisor de tensão resistivo	29
Figura 17 - Circuito retificador de onda completa com derivação central	30
Figura 18 - Estrutura básica de um amplificador operacional	31
Figura 19 - Esquema da pinagem do LM358	32
Figura 20 - ESP 32 esquemas de pinagem	33
Figura 21 - Diagrama de blocos da arquitetura do ESP32	33
Figura 22 - Arquitetura de funcionamento da plataforma blynk	34
Figura 23 - <i>Arduino</i> IDE	35
Figura 24 – Interface do <i>software proteus</i>	36
Figura 25 - Esquema ilustrativo do protótipo de monitoramento	37
Figura 26 - Compressor usado no projeto	38

Figura 27 - Sensor Lm35 em cima do motor do compressor	38
Figura 28 - Circuito de medição de temperatura	39
Figura 29 - Circuito de medição de temperatura	39
Figura 30 - Circuito de Temperatura com amplificador de sinal	40
Figura 31 - Circuito comparador	41
Figura 32 - Circuito de monitoramento de temperatura completo	41
Figura 33 - Linha de código para leitura da temperatura	41
Figura 34 - Circuito de medição de corrente	42
Figura 35 - Esquema do circuito medidor de corrente com sensor SCT013	42
Figura 36 - Linhas de código para leitura da corrente	43
Figura 38 - Esquema do circuito de medição de tensão	44
Figura 39 - Código para leitura para tensão elétrica	44
Figura 40 - Esp32 usado no projeto	45
Figura 41 - Interface de monitoração pelo computador	46
Figura 42 - Interface de monitoração pelo aplicativo no Smartfone	46
Figura 43 – Monitoramento da temperatura	47
Figura 44 – Monitoramento de corrente	48
Figura 45 – Monitoramento da tensão elétrica	49
Figura 46 - Protótipo final	51

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1: Temperatura lida X valor de tensão	40
Tabela 2: Valores de amostras de temperatura	48
Tabela 3: Valores de amostras de corrente	49
Tabela 4: Valores de amostras de Tensão	50
Tabela 5: Resultados de medições e monitoramento de um dia	50
Tabela 6: Custos do Protótipo Proposto	52

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 - Descrição dos pinos do amplificador LM358	31
Quadro 2 – Especificações Técnica Esp-32	32

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>11</b>
<b>1.1 Objetivos</b>	<b>13</b>
1.1.1 Objetivo Geral	13
1.1.2 Objetivos Específicos	13
<b>1.2 Motivação</b>	<b>13</b>
<b>1.3 Justificativa</b>	<b>13</b>
<b>1.4 Descrição dos Capítulos</b>	<b>14</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>15</b>
<b>2.1 Internet das Coisas</b>	<b>15</b>
<b>2.2 Compressor</b>	<b>15</b>
<b>2.3 Sensores Elétricos</b>	<b>16</b>
<b>2.4 Medição de Temperatura</b>	<b>17</b>
2.4.1 Termopar	17
2.4.2 Termistores	18
2.4.3 Diodo como sensor de temperatura	19
2.4.4 Sensor de temperatura CI LM35	20
<b>2.5 Medição de Corrente Elétrica</b>	<b>21</b>
2.5.1 Transformador de corrente TC	24
2.5.2 Medição de corrente com resistor Shunt	25
2.5.3 Sensor de corrente SCT-013 não invasivo	26
<b>2.6 Medição de Tensão</b>	<b>28</b>
<b>2.7 Circuito Retificador de Onda Completa com Derivação Central</b>	<b>29</b>
<b>2.8 Amplificadores Operacionais</b>	<b>30</b>
2.8.1 Amplificador operacional LM358	31
<b>2.9 ESP32</b>	<b>32</b>
<b>2.10 Softwares</b>	<b>34</b>

2.10.1 <i>Blynk</i>	34
2.10.2 IDE Arduino	34
2.10.3 <i>Proteus</i>	35
<b>3 MATERIAS E MÉTODOS</b>	<b>37</b>
<b>3.1 Sistema de Medição</b>	<b>37</b>
3.1.1 Compressor usado no projeto	37
3.1.2 Circuito de medição de temperatura usado no protótipo	38
3.1.3 Circuito de medição de corrente	42
3.1.4 Circuito de medição de tensão	43
<b>3.2 Sistema de Controle</b>	<b>44</b>
<b>3.3 Interface de Monitoração</b>	<b>45</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	<b>47</b>
<b>4.1 Resultado da Medição de Temperatura</b>	<b>47</b>
<b>4.2 Resultado da Medição de Corrente</b>	<b>48</b>
<b>4.3 Resultado da Medição de Tensão</b>	<b>49</b>
<b>4.4 Resultados de Medição Final do Supervisório Comparado com o Real</b>	<b>50</b>
<b>4.5 Custo do Protótipo Proposto</b>	<b>51</b>
<b>5 CONCLUSÕES</b>	<b>53</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>55</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Este trabalho tem como tema o sistema de monitoramento remoto de um protótipo de um compressor, sabe-se que os processos industriais têm apostado em sistemas cada vez mais automatizados e mais inteligentes com equipamentos conectados à internet, o que facilita na tomada de decisões se tratando de manutenção dos equipamentos.

O termo indústria 4.0 faz referência às mudanças oriundas de inovações, algumas delas ainda em desenvolvimento, mas que tendem a alterar profundamente os processos e a organização da produção e interação entre os agentes econômicos, com o objetivo de integrar equipamentos aos processos otimizando toda cadeia produtiva através da coleta de dados de equipamentos e *feedback* do chão de fábrica. (LIMA; GOMES, 2020).

Um recurso muito importante que vem sendo aplicado nos setores manufatureiro e a IIoT (Internet das coisas Industrial) que permite conectar máquinas à internet e em plataformas avançadas para análise de dados, sua utilização traz benefícios para o processo produtivo e muitas vantagens como redução de operações ou paradas, aumento da rapidez na tomada de decisões e melhoria da produção a IIoT e considerada uma subcategoria da IoT (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2020).

A pneumática é uma tecnologia que através da pressão do ar comprimido consegue criar energia transformando-a em trabalho por meio de atuadores constituídos de cilindros, motores e outros equipamentos, portanto a pneumática em conjunto com a eletrônica resulta hoje em ser a tecnologia mais utilizada na automação industrial (PRUDENTE, 2015).

Neste cenário, torna-se viável a utilização de um sistema de monitoramento de grandezas como tensão elétrica, corrente elétrica e temperatura para testes destes dispositivos, uma vez que, esse sistema pode evitar paradas por quebras do equipamento o que pode gerar custos indesejados com manutenção e parada do processo produtivo.

Trabalhos apresentados como o de Souza *et al.* (2021) e Coelho (2020) apresentaram soluções que por meio do uso de microcontroladores e de um sistema supervisor, permite controlar remotamente e visualizar os dados das variáveis que se deseja monitorar em seus respectivos trabalhos.

No trabalho de Souza *et al.* (2021) foi desenvolvido um sistema que é capaz de visualizar o nível de água dos tanques de abastecimentos de uma escola tudo em tempo real, onde um sensor ultrassônico faz leitura do volume de água do tanque, enviando essa informação para o microcontrolador ESP 32, enviando os dados coletadas para a nuvem.

A plataforma *blynk* após receber essas informações é responsável em gerar um alerta em forma de mensagem de textos ou *e-mail* caso o volume fique abaixo do desejado, capaz também de criar um histórico de volume de água em tempo real de qualquer lugar, obtendo como conclusão que os resultados obtidos foram satisfatórios para conduzir monitoramentos de volume levando em consideração também no baixo custo para a realização do projeto.

Já no trabalho apresentado por Coelho (2020) foi desenvolvido um sistema que faz a medição do consumo e análise da qualidade da energia elétrica em sistemas monofásicos. Esse sistema além de fazer as medições de forma não invasiva é capaz de adquirir e processar os sinais elétricos em tempo real, o protótipo apresentado em seu trabalho mostrou-se capaz de monitorar algumas grandezas em tempo real porém os sensores usados, os quais não foram obtidos resultados favoráveis, mas finaliza dizendo que o sistema embarcado desenvolvido pode ser utilizado com confiabilidade. Neste cenário, utilizou o microcontrolador ESP8266 para aquisição dos dados, mostrando ser capaz de processar os sinais, e a plataforma *blynk* escolhida para o desenvolvimento do supervisor apresentou-se objetiva e prática.

Diante do contexto apresentado e da viabilidade do uso de microcontroladores para monitoramento, este trabalho propõe o desenvolvimento de um sistema de monitoramento remoto de um compressor utilizando sensores e circuitos projetados para o condicionamento dos sinais para medição de tensão elétrica, corrente elétrica e temperatura enviando as informações para um microcontrolador ESP32, o qual por sua vez processa os dados e envia para o servidor da plataforma *blynk* com o propósito de se ter as informações de status do compressor e assim prevenir possíveis falhas e eventuais desgaste do equipamento, para esse trabalho foi agregado conhecimentos visto nas disciplinas de circuitos elétricos, dispositivos ópticos e sensores, linguagem de programação e eletrônica.

## 1.1 Objetivos

### 1.1.1 Objetivo Geral

Desenvolver um sistema de monitoramento remoto de tempo real em que se aplica o conceito de manutenção preditiva utilizando um compressor a fim de coletar informações de status do sistema podendo evitar falhas e aumentar a vida útil do equipamento a partir de análise de temperatura, tensão e corrente elétrica, variáveis fundamentais para o funcionamento do compressor.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- a) Abordar o estudo de medição de grandezas como temperatura, corrente e tensão elétrica utilizando o conceito de sensores e circuitos eletrônicos.
- b) Desenvolver circuitos de sensoriamento, transdução e circuitos de condicionamentos de sinais que foi utilizado.
- c) Definir o tipo de hardware para aquisição e processamento dos dados que é responsável por fazer a interface entre os sensores e o sistema de monitoramento
- d) Aplicar a interface de monitoramento aplicada ao projeto.

## 1.2 Motivação

A motivação para este projeto se deu pelo fato da larga abordagem em questão da indústria 4.0, onde está apresenta elementos de comunicação, controle, monitoramento e acionamento remoto

A ideia de prover um monitoramento a distância não é recente, mas tem ganhado destaque nos últimos anos novamente em razão de um mundo cada vez mais conectado, onde há a necessidade de velocidade de resposta, dinamicidade e flexibilidade na captura de dados provindos de uma planta industrial.

## 1.3 Justificativa

Pensando nisso, este trabalho utiliza a plataforma *blink* e o microcontrolador ESP 32 com o intuito de se obter em tempo real valores das variáveis do equipamento em questão, como corrente, temperatura e tensão. A principal justificativa deste trabalho, ocorre em função do compressor ser constituído por elementos chave em diversos circuitos. Ele é o responsável pela geração do ar comprimido dentro dos processos, em que é necessário um controle minucioso

do equipamento em questão, o que trará resultados significativos quanto ao seu funcionamento ideal, podendo evitar quebras do equipamento e paradas de todo um processo produtivo o que gera custos elevados.

#### **1.4 Descrição dos Capítulos**

Este TCC está dividido em mais 5 capítulos como se segue:

Capítulo 1, apresenta a introdução, os objetivos, a motivação e a justificativa que compreende esse trabalho.

Capítulo 2, descreve todos os recursos teóricos necessários para o desenvolvimento, a saber:

Capítulo 3, apresenta os materiais e os métodos utilizados para a confecção do protótipo em cada etapa, e as simulações.

Capítulo 4, são apresentados os principais resultados obtidos e discussões.

Capítulo 5, são apresentados as conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo será apresentado os principais conceitos tratados neste trabalho, o conceito de compressor e sua finalidade o conceito de Internet das coisas, as grandezas que se deseja monitorar bem como as formas de medição e sensores que foram aplicados no referente trabalho os componentes eletrônicos usados no trabalho e os softwares que foram escolhidos para se trabalhar.

### 2.1 Internet das Coisas

A Internet das Coisas refere-se à integração de objetos físicos e virtuais em redes conectadas à Internet, permitindo que “coisas” colem, troquem e armazenem uma enorme quantidade de dados numa nuvem (ALMEIDA, 2015).

A internet das coisas é o mais novo padrão que ganha espaço no cenário das telecomunicações sem fio, com a ideia principal de conectar coisas e objetos a internet com a ideia principal de interagir uns com os outros, a principal força da ideia que a internet das coisas trás e o impacto que ela terá na vida cotidiana (ATZORI; IERA; MORABITO, 2010).

“A internet das Coisas proporciona grande parte da automação, presente em residências, e até mesmo no chão de fábrica, através de sistemas, sensores e recursos de comunicação o que permite que gestores acompanhe os seus processos em tempo real o que facilita em uma tomada de decisão” (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2020).

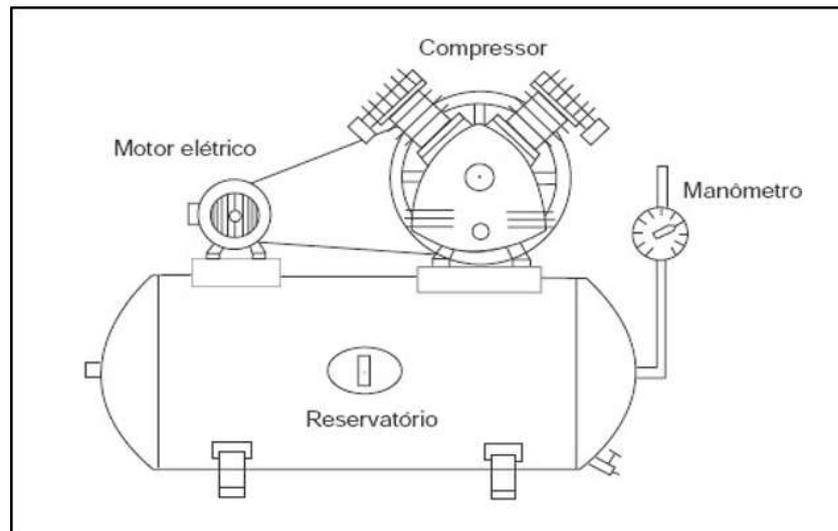
A mudança para as novas formas de produção que caracterizam a Indústria 4.0 é um fator decisivo para a competitividade da indústria brasileira e para a sua maior e melhor integração em cadeias globais de valor. Essa atualização amplia a variedade e a qualidade de bens e serviços à disposição tanto da sociedade como das empresas (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA, 2017).

### 2.2 Compressor

Compressores são máquinas operadoras que comprimem o ar, quando temos um aumento de pressão muito pequeno como exemplo 0,1 bar são chamadas de ventiladores, passam a ser chamados de compressores quando o aumento de pressão é muito mais elevado, geralmente superior a 1,2 bar (PRUDENTE, 2015).

A Figura 1 mostra um exemplo de um pequeno compressor com acionamento por motor elétrico utilizado em aplicações onde se tem a necessidade de pouca potência em termos de pressão e vazão.

Figura 1 - Compressor com acionamento por motor elétrico



Fonte: Prudente (2015)

Basicamente o compressor é um equipamento que faz a transformação de energia mecânica em energia pneumática, esse é um dos equipamentos mais importantes dentro dos processos industriais, responsável pela geração do ar comprimido utilizado para gerar trabalho em diferentes níveis dentro de uma planta industrial, desde o acionamento de máquinas e ferramentas e de todo o setor produtivo, presente também em hospitais e clínicas, isso é o que torna esse equipamento ser tão importante.

### 2.3 Sensores Elétricos

Sensores são dispositivos que recebem e respondem a sinais ou estímulos. São usados para medir quantidades físicas, como temperatura e pressão, e converter os dados obtidos em sinais eletrônicos. Seu uso em nossos dias é aplicado por diversos setores. Eles podem ser usados em aplicações industriais, comerciais e até mesmo em ambientes hospitalares (SOBRINHO, 2008).

Sensores são dispositivos de grande utilização dentro das indústrias e fora, pois são os principais responsáveis de coletar informações das variáveis de processo, seja de leitura analógica ou digital. Sensores digitais são definidos por sua saída para assumir apenas dois valores de tensão ao longo do tempo, ou seja 0 ou 1, ON ou OFF, por exemplo OFF= 0V e ON = 24V. Suas principais aplicações estão na detecção de objetos, detecção de uma posição ou eventos.

Os sensores analógicos variam continuamente de uma forma definida em relação a variável que se está sendo monitorada, ou seja, os sensores analógicos podem assumir qualquer

valor no seu sinal de saída ao longo do tempo desde que esteja dentro da sua faixa de operação, são algumas das principais grandezas físicas que são monitoradas por esses dispositivos analógicos temperatura, umidade, corrente elétrica, pressão e tensão.

Neste cenário, alguns tipos de sensores são empregados nas medições de grandezas físicas como temperatura, corrente elétrica e tensão elétrica.

## **2.4 Medição de Temperatura**

“A temperatura é uma grandeza que assume o mesmo valor em dois sistemas que são colocados em contato térmico um com o outro e deixados chegar ao mesmo equilíbrio térmico” (QUINN, 1990, p.1).

Um dos parâmetros físicos mais comuns que são medidos e monitorados dentro das indústrias é a temperatura. O nível de agitação molecular de um corpo ou energia cinética média que a compõe e o que define o conceito de temperatura (BENTLEY, 1993).

Um controle minucioso da temperatura de um equipamento como por exemplo forno, reator, motores, refratários entre outros pode prolongar a vida útil do equipamento o controle de temperatura e normalmente obtido pela manipulação direta ou indireta do fluxo de calor para dentro ou para fora do sistema (MCMILLAN, 2011).

Segundo Soares (2014), o agente mais importante que influencia diretamente na vida útil de um motor está relacionado à temperatura, portanto um aumento de 8 a 10 °C no sistema de isolamento do motor pode reduzir a sua vida útil pela metade.

Dentro do processo produtivo a temperatura é uma das variáveis que mais se deseja monitorar com intuito de se ter o absoluto controle do processo, para isso são utilizados dispositivos que nos auxiliam na medição dessas grandezas, são eles indicadores, sensores/transdutores.

Existem vários tipos de sensores de temperatura que são aplicados no cotidiano dentro das indústrias, comércio, veículos e eletrodomésticos, porém para o trabalho em questão irei citar alguns principais sensores de temperatura usados em processos industriais e em circuitos eletrônicos.

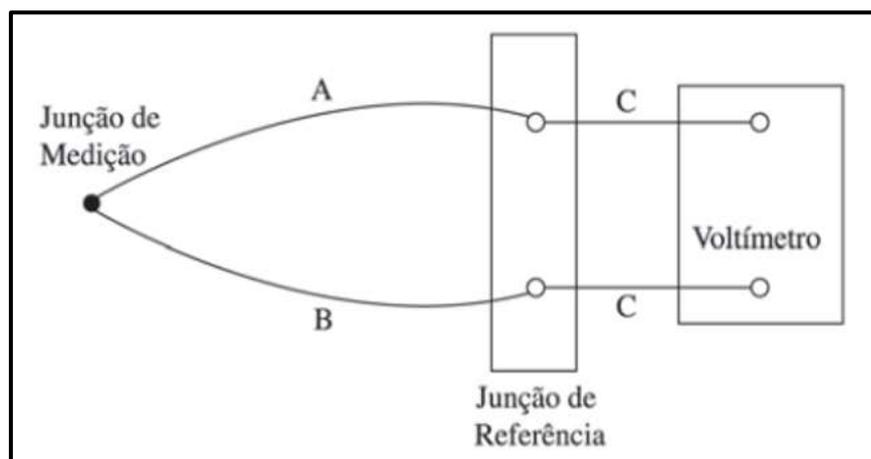
### **2.4.1 Termopar**

Os termopares são sem dúvida um dos sensores de temperatura mais utilizado dentro dos processos industriais com intuito de se ter um controle eficaz dos processos em que se deseja monitorar, seja por sua robustez, e simplicidade de operação, seu princípio de

funcionamento é baseado pelo fenômeno conhecido como efeito de *Seebeck*, onde dois metais de diferentes matérias são colocados em contato através de uma junção, de um lado temos uma junção de medição que podemos chamar de junta quente e do outro lado a junção de referência ou junta fria, dessa forma quando ocorre uma diferença de temperatura entre as junções ocorre também uma diferença de potencial que é diretamente proporcional a temperatura, que pode ser medida por um voltímetro, existe três categorias de tipos de termopares os de metal nobre (R, S, B) os que possui sua padronização com metal base (K, J, N, E, T) e os termopares não definidos por letra (MOREIRA, 2002).

A Figura 2, mostra o esquema simplificado do termopar seu princípio de funcionamento.

Figura 2 - Esquema de Ligação do Termopar



Fonte: Moreira (2002)

Observando a junção de dois metais de matérias diferentes dessa forma o termopar funciona medindo essa diferença de potencial que é causada por essa junção de dois fios diferentes.

#### 2.4.2 Termistores

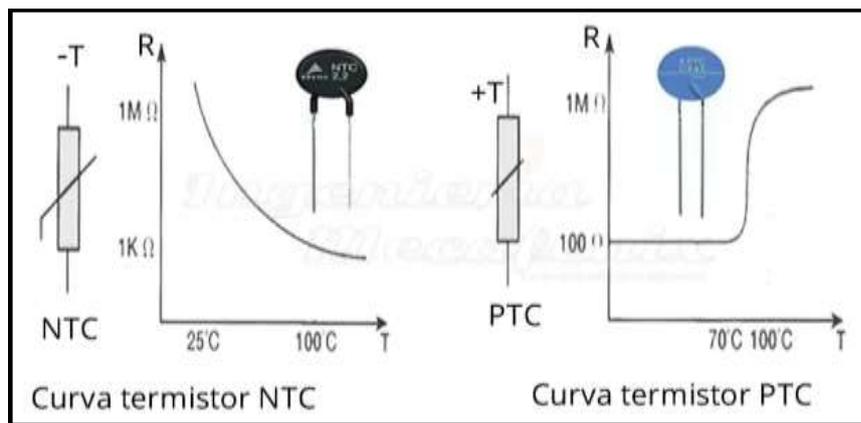
São resistores sensíveis a temperatura onde sua resistência elétrica sofre variação conforme a mudança de temperatura, bastante utilizados em diversas aplicações onde se deseja ter uma detecção automática, medição e controle de energia física, existem dois tipos de termistores os de coeficiente de temperatura positivo e o que possui coeficiente de temperatura negativo.

PTC é uma sigla para *Positive Temperature Coefficient*, onde sua principal propriedade está no seu coeficiente térmico positivo, ou seja, aumenta a sua resistência de acordo com o aumento de temperatura que se está monitorando.

NTC é uma sigla para *Negative Temperature Coefficient* ao contrário do PTC ou NTC tem o seu coeficiente térmico negativo, ou seja, sua resistência interna decresce com o aumento da temperatura (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2020).

A Figura 3 ilustra bem como se comporta as curvas dos termistores, é possível ver que o PTC com o aumento da sua temperatura sua resistência interna aumenta, já os termistores NTC é possível ver um decrescimento da sua resistência com o aumento da temperatura.

Figura 3 - Curvas de comportamento dos termistores NTC e PTC



Fonte: Ingeniería Mecafenix (2018)

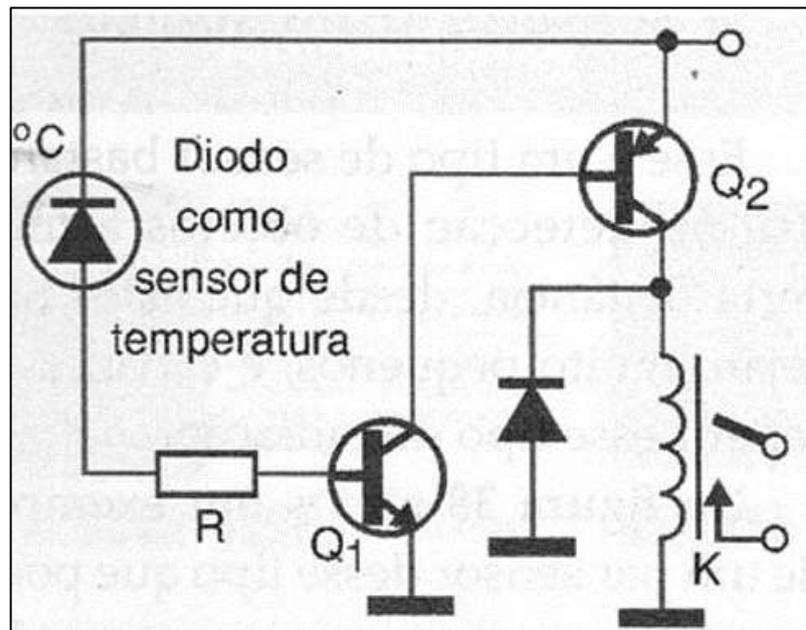
Diversas são as aplicações onde são usados os termistores um grande exemplo são os veículos, na medição da temperatura de água e óleo, presente também nos eletrodomésticos como geladeira, ar condicionado, fornos elétricos entre muitas outras aplicações.

#### 2.4.3 Diodo como sensor de temperatura

O diodo é um dos componentes básicos usados em circuitos eletrônicos formado por uma junção de dois semicondutores do tipo P e N que possui características diferentes, uma aplicação interessante é que um diodo comum de silício quando é polarizado diretamente com uma corrente de 1 mA, possui uma queda de tensão de 0,62 V a 25° C, para cada grau celsius de aumento de temperatura essa tensão cai próximo de 2 mV, por sua vez o diodo de germânio possui uma variação ainda maior em função da temperatura, isso faz com que o diodo tenha a sua aplicação em alguns circuitos de baixo custo como sensor de temperatura (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2020).

A Figura 4 ilustra bem um diodo que é polarizado no sentido inverso onde sua corrente de fuga é diretamente proporcional ao aumento da sua temperatura.

Figura 4 - Diodo polarizado no sentido inverso.



Fonte: Braga (2022)

Um ponto interessante é que a sua faixa de medição de temperatura capaz de medir e bastante pequena o que possibilita a sua aplicação em alguns circuitos onde se deseja ter um controle em função da temperatura, uma aplicação eficaz se dá em um circuito com microprocessadores onde se deseja monitorar e ter um controle de temperatura, acionando um circuito auxiliar de proteção quando se chegar em um determinado set point (BRAGA, 2022).

#### 2.4.4 Sensor de temperatura CI LM35

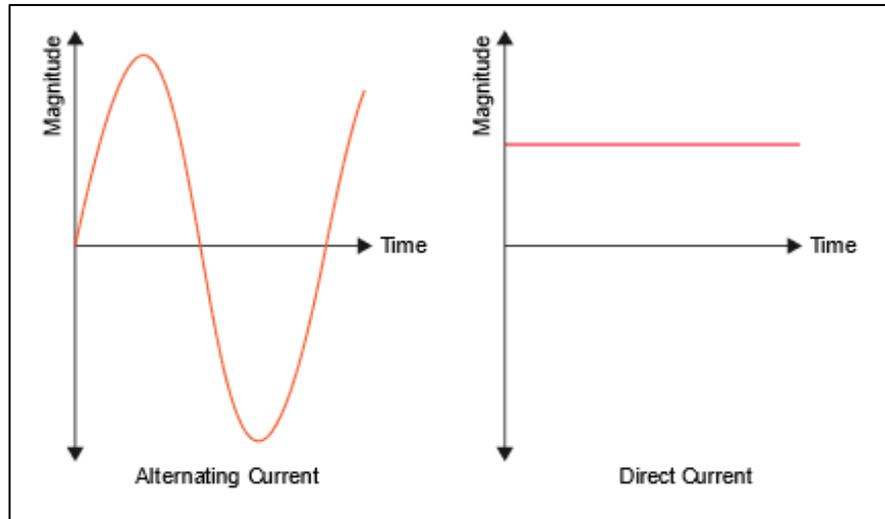
O LM35 é um sensor de temperatura com o circuito integrado de precisão, fabricado pela *National Semiconductor*, sua tensão de saída é linear e relativa à temperatura em que se encontra quando for alimentado por uma tensão de 4-20Vdc e GND. O valor da tensão de saída será de 10mV para cada Grau Celsius de temperatura, o LM35 é classificado para operar em uma faixa de temperatura de  $-55^{\circ}$  a  $+150^{\circ}$ C, o LM35 é bastante usado em circuitos eletrônicos com baixo custo e uma precisão bastante eficiente.

O LM35 não necessita de qualquer calibração externa para fornecer com exatidão valores de temperatura  $1/4^{\circ}$  C ou até mesmo  $3/4^{\circ}$ C dentro da sua faixa de temperatura de  $-55^{\circ}$ C a  $155^{\circ}$ C (NATIONAL SEMICONDUCTOR, 2000).



A corrente elétrica é dividida em corrente alternada e contínua, Figura 6, a corrente alternada varia no tempo e por sua vez a corrente contínua não sofre variação no tempo a imagem abaixo mostra como se comporta no gráfico a corrente.

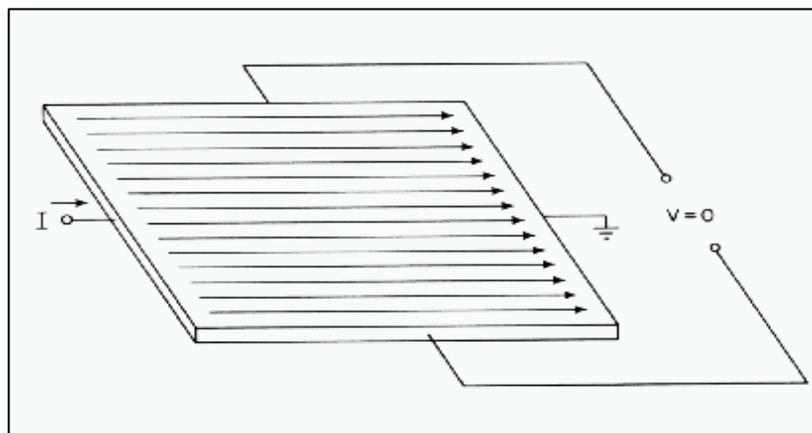
Figura 6 - Corrente AC x DC



Fonte: Smith (2021, p. 5)

Na medição de corrente elétrica dentro de circuitos, Figura 7, um dos princípios mais usados é o efeito hall. O efeito hall se dá por um campo elétrico transversal em um condutor que é percorrido por uma corrente elétrica, quando ele se encontra mergulhado em um campo magnético. O efeito hall acontece em qualquer material condutor, porém sua intensidade é maior dentro dos materiais semicondutores (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2020).

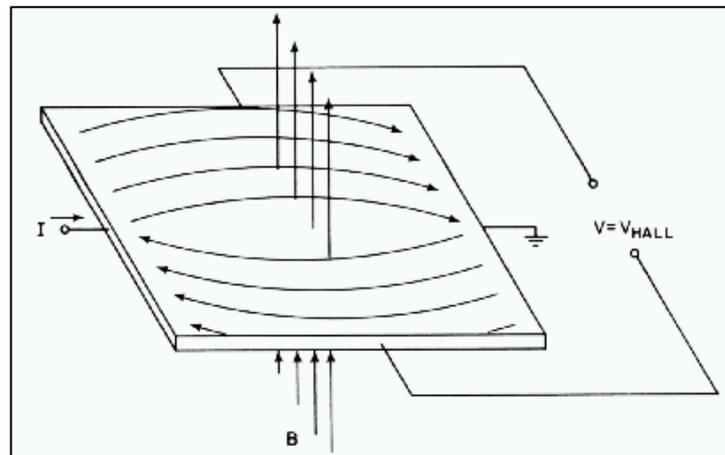
Figura 7 - Corrente em um condutor sem um campo magnético presente



Fonte: Thomazini e Albuquerque (2020)

Quando se tem um campo magnético perpendicular, o fluxo de corrente passa a ser distorcido com isso a distribuição resultante causa o aparecimento de uma diferença de potencial na saída, essa diferença é o que chamamos de tensão de hall (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2020).

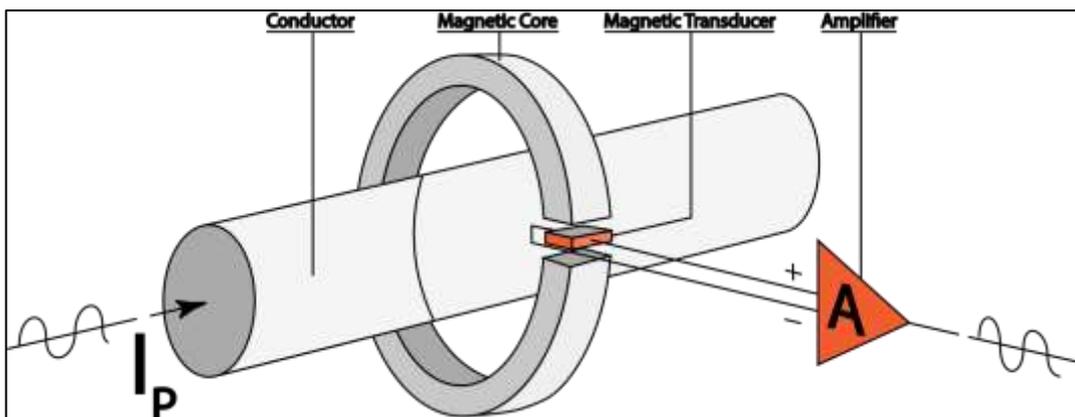
Figura 8 - Corrente em um condutor com a presença de um campo magnético perpendicular



Fonte: Thomazini e Albuquerque (2020)

A corrente elétrica pode ser medida utilizando sensores de malha aberta ou malha fechada, os sensores de malha aberta, representado na Figura 9, são basicamente constituídos de um sensor de efeito hall montado na lacuna de um núcleo magnético, sua saída é amplificada e medindo um campo criado pela corrente, sua grande vantagem se dá pelo fato de não ter o contato diretamente com a corrente, isso é o que chamamos de isolamento galvânico entre o circuito e o sensor, alguns sensores de malha aberta possui componentes eletrônicos que tem por finalidade auxiliar na compensação de desvios que são causados pela temperatura (SMITH, 2021).

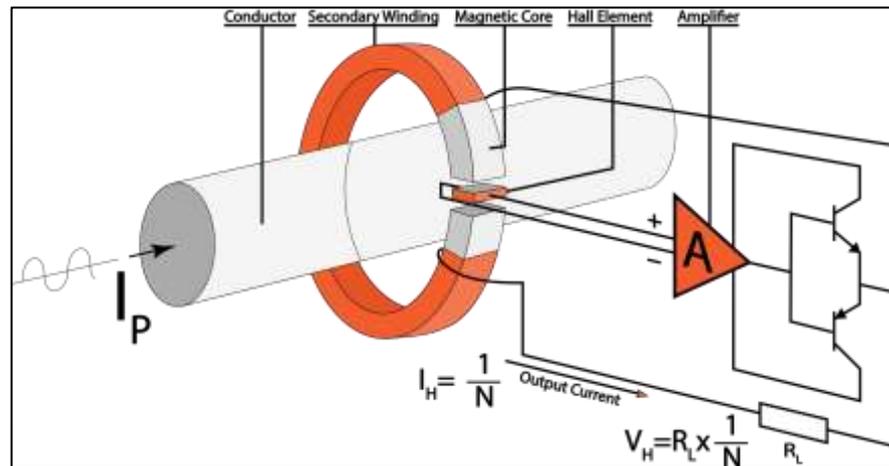
Figura 9 - Sensor de corrente de Circuito Aberto



Fonte: Smith (2021)

Os sensores de corrente de malha fechada, como mostra a Figura 10, funcionam como um circuito de controle de *feedback* que fornece uma saída que é proporcional à entrada, esse tipo de sensor fornece naturalmente uma maior precisão e linearidade, fornece também uma maior compensação de temperatura e resistência ao ruído, esse tipo de sensor é bastante usado onde se deseja monitorar acionamento de velocidade, controle de servos, controle de robô e muitas outras aplicações, a corrente que vai ser medida flui através do condutor primário criando um campo magnético dentro do núcleo como mostra na imagem abaixo esse campo é medido por um sensor de efeito hall que e colocado no entreferro do núcleo a saída do sensor hall e amplificada e convertida em um sinal de corrente passando pelo enrolamento secundário (SMITH, 2021).

Figura 10 - Sensor de corrente de Circuito Fechado



Fonte: Smith (2021)

### 2.5.1 Transformador de corrente TC

Os transformadores de correntes, Figura 11, conhecidos também como TC são fundamentais nos sistemas de energia elétrica, consiste em um transformador que possui em seu enrolamento primário poucas espiras em qual a secção transversal do condutor seja compatível com a corrente que se deseja avaliar, e por outro lado um enrolamento secundário com elevado número de espiras e secção transversal pequena, geralmente capaz de suportar uma corrente de 5 A ou 1 A, dessa forma os TC são bastante usados com objetivo de monitorar correntes em sistemas elétricos transformando correntes elevadas que circulam no seu primário em correntes que possui menor intensidades que circulam em seu secundário através de uma relação de transformação (BATISTA, 2015).

Figura 11 - Transformador de Corrente Comum



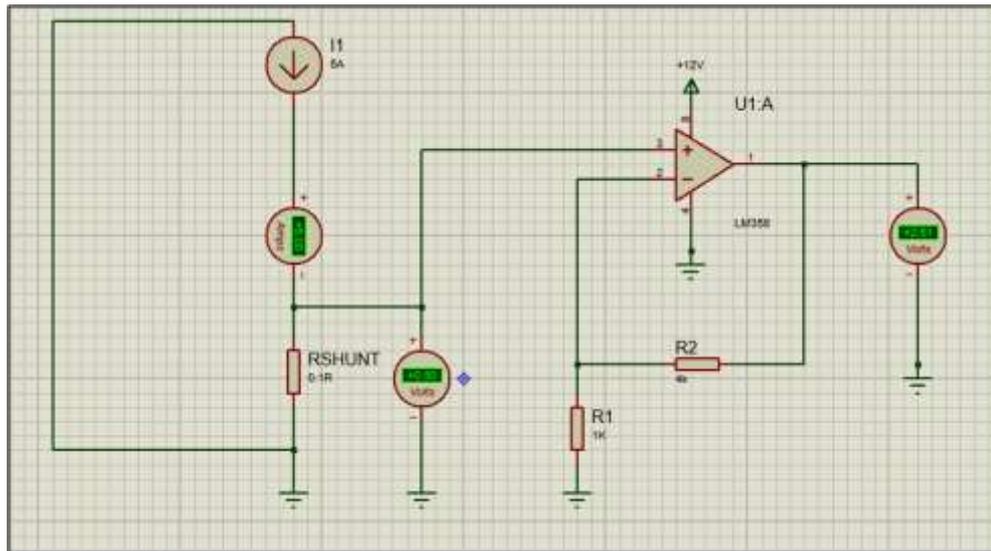
Fonte: Silveira (2018)

Alguns tipos básicos de transformadores de corrente são: enrolamento, toroidal e barra. O transformador do tipo enrolamento está conectado em série com o condutor que transporta a corrente do circuito através do seu enrolamento primário, portanto tem-se que a medida é precisão da corrente do secundário depende da relação de voltas do transformador, já o transformador do tipo toroidal diferentemente do anterior ele não possui um enrolamento no seu primeiro ou seja a corrente é medida passando por dentro de uma janela ou orifício do transformador, por sua vez o transformador de corrente do tipo barra como o próprio nome sugere ele utiliza como o seu enrolamento primário o cabo ou a barra do seu circuito principal (SILVEIRA, 2018).

### 2.5.2 Medição de corrente com resistor Shunt

Uma forma que pode ser aplicada para medição de corrente contínua com baixo custo e a utilização de um Resistor *Shunt*, como mostra a Figura 12, o Resistor *Shunt* é um resistor que possui um valor de resistência baixo ligado em série com o circuito que se deseja medir a corrente que por ele passa, através da queda de tensão sobre o resistor *shunt* é possível determinar a corrente que passa no circuito ou seja a mesma corrente que passa pela carga passa pelo resistor *shunt*, podemos determinar a corrente que passa no circuito utilizando a fórmula da lei de ohm  $V = R \times I$  (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2020).

Figura 12 - Circuito com Resistor Shunt para medir corrente elétrica



Fonte: Própria (2022)

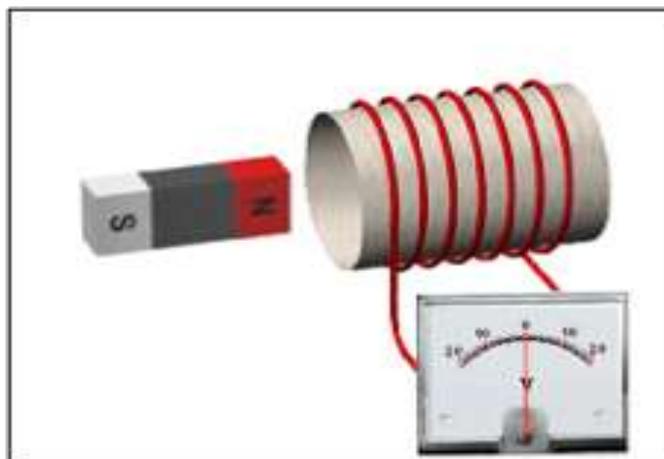
A Figura 12 mostra um circuito utilizando um resistor Shunt com uma resistência de 0.1 ohm em série com uma fonte de corrente de 5 amper que através da queda de tensão em cima do resistor Shunt e utilizando um amplificador operacional é possível se calcular a corrente.

### 2.5.3 Sensor de corrente SCT-013 não invasivo

Para o referente trabalho foi utilizado o sensor de corrente SCT-013 não invasivo, com esse sensor de corrente não é necessário abrir o circuito para a medição da corrente que flui no circuito, ou seja, basta apenas abraçar um dos fios ligados a carga que será monitorada, o sensor SCT-013 possui dois enrolamentos sendo que o enrolamento primário é o próprio condutor em que se deseja medir a corrente.

Seu princípio de funcionamento é baseado na lei de Faraday, onde diz que um campo magnético que varia ao longo do tempo induz em uma espira uma força eletromotriz que gera uma corrente elétrica que é proporcional a intensidade do campo magnético, a Figura 13 exemplifica esse princípio, quando o ímã se aproxima das espiras ocorre uma variação no campo magnético onde é possível ver no voltímetro uma tensão, ou seja, uma força eletromotriz (DEMETRAS, 2017)

Figura 13 - Ilustração da Lei de Faraday



Fonte: Demetras (2017)

O sensor de corrente SCT da sigla em inglês *split-core current transformer* que significa transformador de núcleo dividido como o seu próprio nome diz possui em um lado da sua estrutura fixa uma bobina interna acoplada a sua estrutura, a Figura 14 mostra o sensor SCT-013.

Figura 14 - Sensor de corrente SCT-013



Fonte: Demetras (2017)

O sensor STC 0-13, possui uma saída de 0,333V que é incorporada a uma resistência de amostragem, trabalha com uma temperatura de operação de  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$  e com uma frequência de 50Hz – 1KHz.

## 2.6 Medição de Tensão

A tensão elétrica também é conhecida como (d.d.p) ou seja diferença de potencial ela é chamada assim pelo fato de realmente existir uma diferença entre dois pontos a sua unidade de medida é dada em volts em homenagem a Alessandro Volta (FOWLER, 2013).

Assim como a corrente elétrica a tensão elétrica por sua vez é dividida em tensão contínua e alternada o que difere uma tensão alternada de uma contínua e fato de que a tensão alternada o fluxo de elétrons não segue um fluxo contínuo, um outro fato interessante e de que a tensão alternada as perdas são menores e sua capacidade de transmitir energia a longas distâncias e muito mais eficiente.

Para medição de tensão um dos métodos que se utiliza e com divisor de tensão resistivo, dessa forma a tensão a ser medida está em cima dos terminais de dois resistores ligados em série onde pega-se a amostragem no terminal de um dos resistores, tem-se que a equiparação dessa amostragem é função da razão entre os resistores (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2020)

Dentro da eletrônica o divisor de tensão é um circuito bastante usado quando o objetivo é de criar uma tensão de referência na saída ( $V_{out}$ ) a partir de uma tensão de entrada ( $V_{in}$ ) juntamente com dois resistores dimensionados em série, dessa forma é possível definir uma tensão de referência mais baixa que a tensão da entrada, a Figura 15 mostra o cálculo que se utiliza no divisor de tensão.

Figura 15 – Cálculo de divisor de tensão

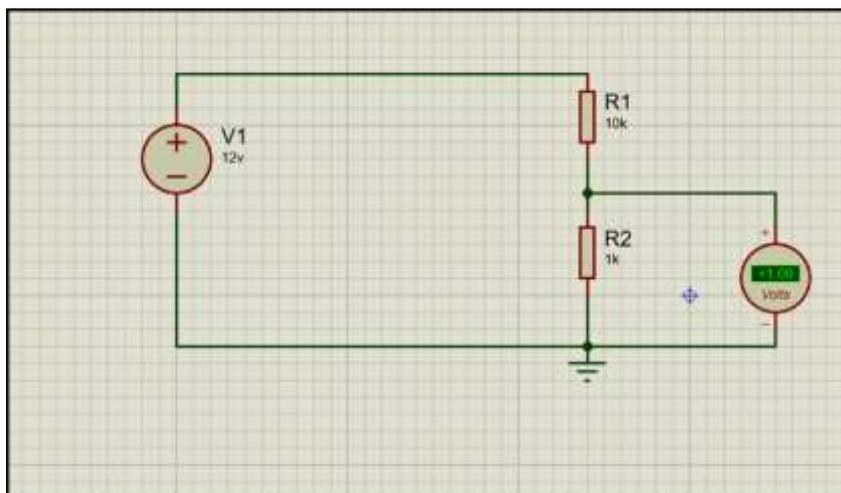
$$V_{out} = \frac{R_2}{(R_1+R_2)} \times V_{in} =$$

$$V_{out} = \frac{1K}{(10K+1K)} \times 12v = 1,09 v$$

Fonte: Própria (2022)

A Figura 16 mostra um circuito divisor de tensão com uma tensão fixa de entrada de 12 volts e dois resistores em série um de 10K e o outro de 1K, utilizando a fórmula do divisor de tensão tem-se uma tensão de saída de 1,09 volts.

Figura 16 - Circuito divisor de tensão resistivo



Fonte: Própria (2022)

Uma outra forma utilizada na monitoração de tensão alternada são transformadores de potencial onde sua tensão de saída possui um valor padronizado; para aplicações de baixas tensões são utilizados pequenos transformadores de potência relativamente baixa que libera uma baixa tensão no seu secundário essa tensão é proporcional a tensão a ser monitorada (THOMAZINI; ALBUQUERQUE,2020).

## 2.7 Circuito Retificador de Onda Completa com Derivação Central

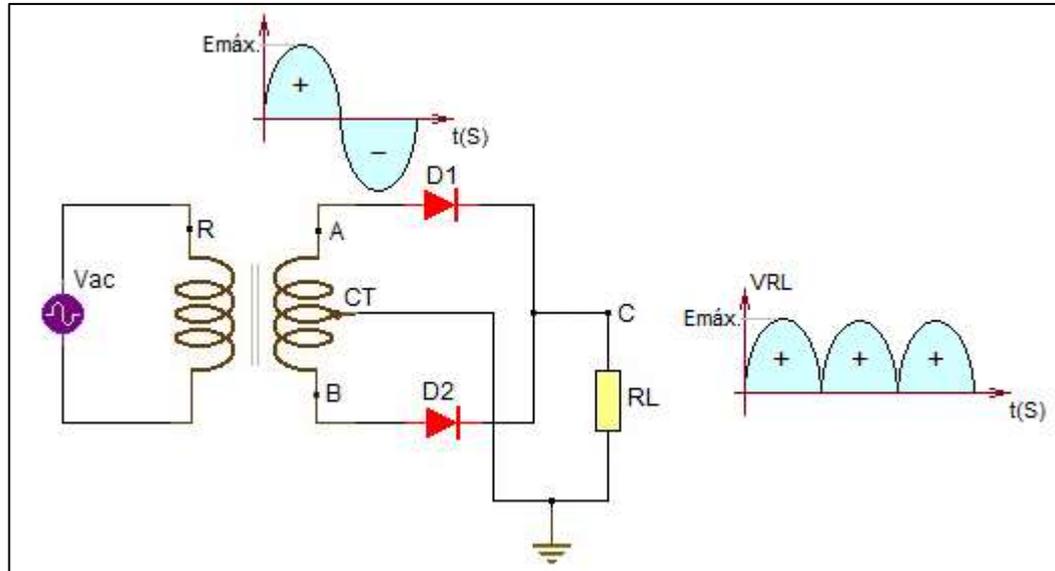
O circuito retificador tem como função de converter a tensão alternada que é composta por uma onda senoidal, em um sinal contínuo, no qual a corrente flua em apenas um sentido. Porém para realizar esta tarefa utiliza-se o diodo, pois o diodo possui a característica de deixar passar corrente em apenas um sentido, bloqueando a polaridade invertida com base nisso temos que o circuito retificador de onda completa trabalha com diodos um operando no semiciclo positivo e outro no semiciclo negativo (ROCHA, 2012).

O circuito retificador de onda completa com derivação central consiste em um transformador que possui um ponto de saída conectado a carga conhecido como *center tapped*, este circuito trabalha com dois diodos ligados na saída do transformador um em cada ponto da saída sua função principal consiste em fazer a retificação da tensão nos dois semiciclo positivo e negativo (TEIXEIRA, 2019).

Na Figura 17 tem-se um circuito retificador de onda completa, no diodo D1 temos uma retificação no semiciclo positivo e no diodo D2 uma retificação no semiciclo negativo, ou seja, quando se tem um pulso positivo em cada seção do secundário o diodo D1 se comporta como um curto-circuito e o diodo D2 como um circuito aberto, já quando o semiciclo na entrada se

torna negativa, o diodo D2 passa a ser um curto conduzindo no semiciclo negativo e o diodo D1 se torna um circuito aberto.

Figura 17 - Circuito retificador de onda completa com derivação central



Fonte: Teixeira (2019)

## 2.8 Amplificadores Operacionais

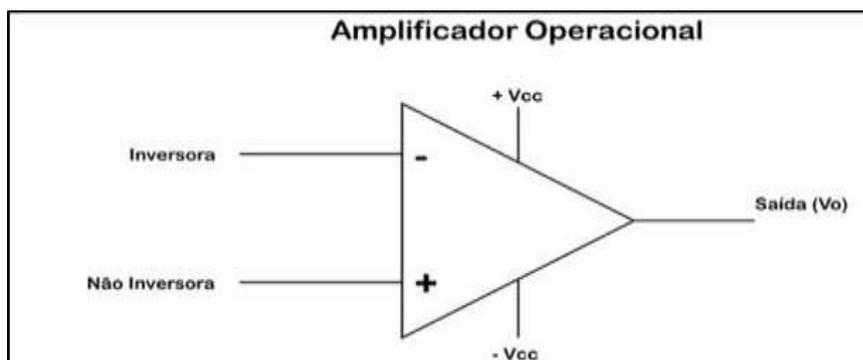
O amplificador operacional é um circuito integrado que tem a capacidade de amplificar um sinal de entrada e realizar internamente operações matemáticas como exemplo soma, subtração, multiplicação, são utilizados em diversas aplicações como sistemas eletrônicos de controle industrial, na instrumentação industrial, nos sistemas de aquisição de dados usados em circuitos como comparador, na forma de amplificador somador, em circuitos integradores entre muitos outros (WENDLING, 2010).

O amplificador operacional é um dos circuitos integrados mais utilizados, uma das suas principais aplicações está nos sistemas de controle e regulação no processamento e geração de sinais (GRUITER, 1988).

O amplificador é formado internamente por resistores, capacitores e transistores, possui duas entradas, uma inversora negativa e outra não inversora positiva, o que resulta em uma saída formada pela diferença das suas entradas inversoras e não inversoras multiplicada pelo ganho.

Um amplificador operacional é basicamente um dispositivo de três terminais que consiste em duas entradas de alta impedância a Figura 18 ilustra bem sua estrutura.

Figura 18 - Estrutura básica de um amplificador operacional



Fonte: Mattede (2022)

### 2.8.1 Amplificador operacional LM358

O amplificador operacional LM358 fabricado pela *National Semiconductor* consiste em um circuito integrado que possui internamente dois amplificadores operacionais independentes, de alto ganho e compensação interna de frequência, ele trabalha em uma faixa de tensão de 0,3 a 32 volts até 20 mA por canal, projetados para operar com uma única fonte de operação a figura abaixo mostra o encapsula e como é o esquema internamente, o LM358 trabalha como comparador com baixo consumo de energia liberando em sua saída um valor muito pequeno não podendo acionar outro circuito, o LM358 recebe o sinal de um sensor fazendo uma comparação com uma tensão de referência onde o mesmo através da sua lógica interna decidirá se a tensão é maior ou menor do que a tensão de referência, liberando em sua saída nível lógico alto ou baixo, no Quadro 1 é apresentada a descrição de cada pino do LM358.

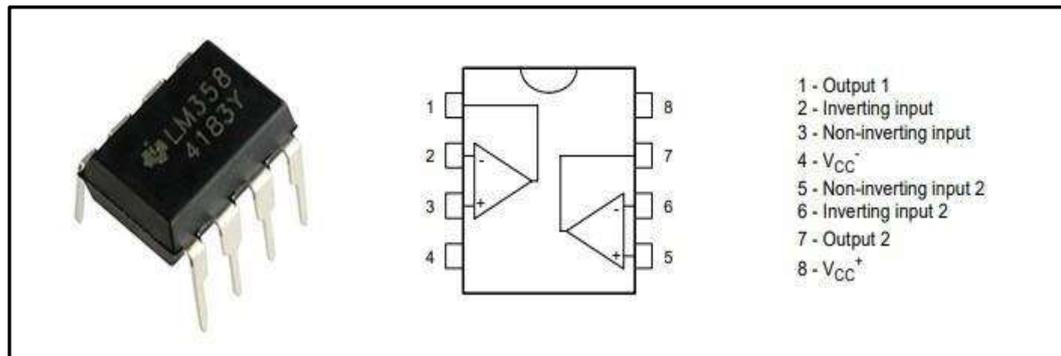
**Quadro 1** - Descrição dos pinos do amplificador LM358

Número de pinos	Nome do pino	Descrição do Pino
1	Saída 1	Saída do primeiro amplificador operacional
2	Entrada 1-	Entrada inversora do primeiro op-amp
3	Entrada 1+	Entrada não inversora do primeiro op-amp
4	Gnd	Aterramento/Alimentação negativa do op-amp
5	Entrada 2-	Entrada não inversora do segundo op-amp
6	Entrada 2+	Entrada inversora do segundo op-amp
7	Saída 2	Saída do segundo amplificador operacional
8		Fonte de alimentação positiva para ambos os amplificadores operacional

Fonte: UsinaInfo (2022)

Na Figura 19 mostra como é a configuração internamente dos pinos de entradas e saídas do LM358.

Figura 19 - Esquema da pinagem do LM358



Fonte: UsinaInfo (2022)

## 2.9 ESP32

Para a elaboração do presente trabalho como microcontrolador utilizou-se o ESP 32, a escolha se deu pelo fato do ESP 32 ser um hardware ideal para fazer a interação do ambiente de monitoração através de sensores como entradas, os sensores fazem a coleta de informações enviando os sinais para a ESP 32 que por sua vez por possuir um módulo *wi-fi* integrado envia as informações via internet para um banco de dados.

O ESP 32 desenvolvido pela *Espressif* Sistemas, é um chip combinado de *wi-fi* e *bluetooth* com 2,4 GHz projetado com o processador de ultrabaixa potência ULP, ideal para internet das coisas (IoT), possui uma *cpu Xtensa dual-core* de 32bits LX6 de núcleo único, com 448 KB de memória *ROM* e 520 KB de *SRAM*, tem o tempo de resposta bastante rápido, com 32 portas digitais e 18 entradas podendo ser analógicas suportar uma tensão de 3,3 vcc em suas entradas (ESPRESSIF, 2022).

O ESP 32 funciona basicamente com o mesmo princípio do *Arduino*, ou seja, o de processar dados e executar códigos com o objetivo de controlar e manipular algo, o Quadro 2 mostra as especificações técnicas do *ESP 32* modelo DEVKIT V1.

**Quadro 2** – Especificações Técnica Esp-32

Esp-32 DEVKIT V1	Especificações
Wi-fi	2,4 GHz até 150 Mbits/s
Bluetooth	BLE (Bluetooth Low energy)
Arquitetura	32 bits
Frequência do relógio	Até 240 MHz
Bater	512 KB
Alfinetes	30 ou 36 (depende do modelo)
Periféricos	Toque capacitivo, ADC (conversor analógico digital), DAC (conversor digital para analógico), UART, CAN 2.0, SPI (serial peripheral interface), PWM

Fonte: Santos (2016)



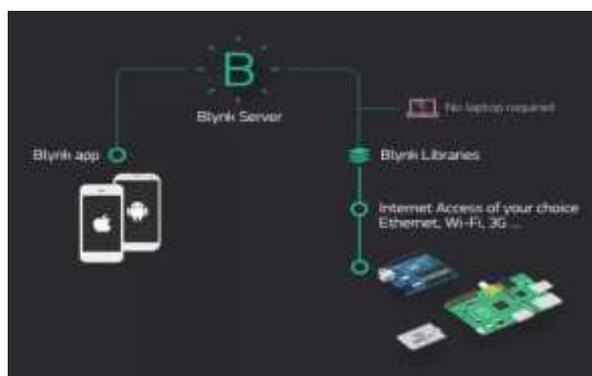
## 2.10 Softwares

### 2.10.1 Blynk

O *blynk* é uma plataforma desenvolvida com intuito de implementação e gerenciamento remoto de dispositivos eletrônicos com internet das coisas (*IoT*) que permite que o usuário crie interfaces para o controle e monitoração de projetos de hardware, resumidamente utilizando o *blynk* é possível controlar microcontroladores coletar informações de sensores em tempo real, criar supervisórios e possibilita salvar dados automaticamente na nuvem, como mostra a Figura 22.

Utilizando a plataforma *blynk* é possível construirmos interfaces gráficas de controle de forma rápida e didática uma das suas vantagens e de interagir com mais de 400 placas de desenvolvimento como *Arduino*, *Esp 32* e muitas outras.

Figura 22 - Arquitetura de funcionamento da plataforma blynk



Fonte: Serrano (2022)

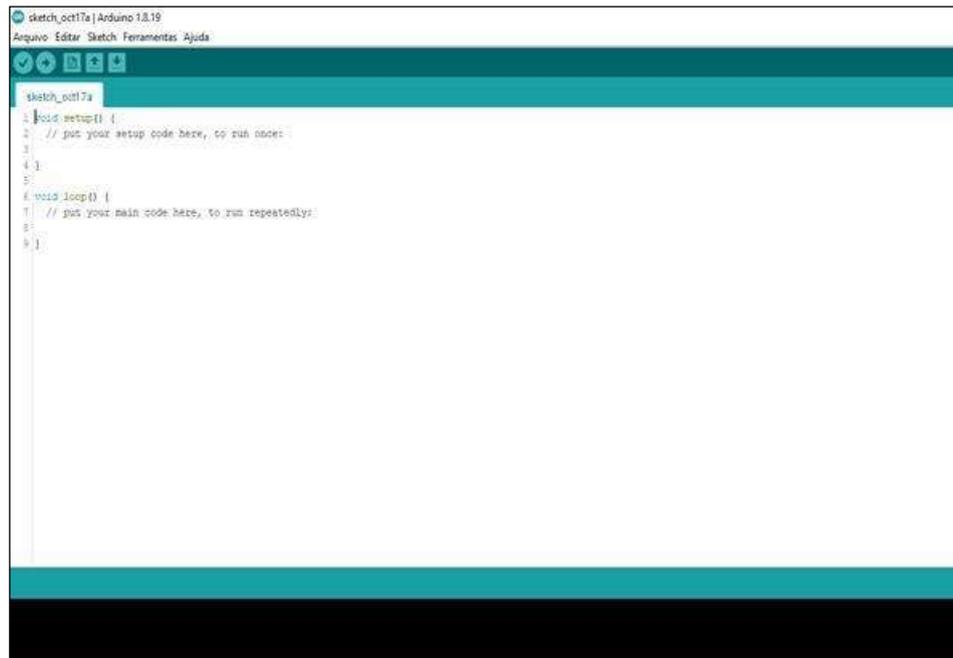
O *blynk* funciona pela internet, o que significa dizer que o *hardware* que for escolhido deve ser capaz de se conectar na internet, um detalhe interessante na escolha do *hardware ESP-32* para o projeto e que ele já possui comunicação *wi-fi* integrado o que diferente do *Arduino* não necessita *wi-fi Shield* para estabelecer uma comunicação, o *blynk* é formado basicamente de três partes o *blynk app*, o *blynk* servidor e o *blynk library* (SERRANO, 2022).

### 2.10.2 IDE Arduino

A IDE do *Arduino* é bastante utilizada por ser um *software* gratuito e por ser didática e versátil, seu ambiente de programação utiliza a linguagem C++, a programação com ambiente *Arduino* não requer firmware, o código, escrito em um subconjunto da linguagem C++, é compilado em um bloco monolítico onde é gravado diretamente na memória de programa, sua

maior vantagem está no fato de garantir um maior poder de processamento, um outro detalhe importante é que essa mesma IDE pode ser usada para programar qualquer outro módulo que utilize o microcontrolador ESP8266 e maior parte dos exemplos e programas do *Arduino* pode ser compilado e carregados nos módulos que utiliza esse microcontrolador incluindo a *ESP32* (OLIVEIRA, 2017). Essa interface é apresentada na Figura 23.

Figura 23 - *Arduino* IDE



Fonte: Própria (2022)

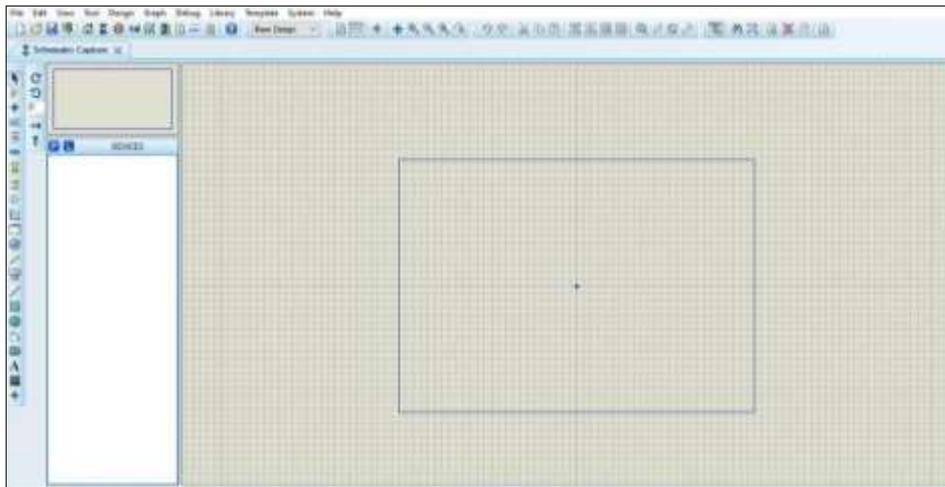
A IDE do *Arduino* possui um layout completo e de fácil navegação todas as opções são separadas cada uma de acordo com sua função, uma das coisas que o torna bem didático e o fato de se encontrar na versão português a plataforma e compatível com quase todos os sistemas operacionais, podendo fazer seu download gratuitamente no site oficial do *Arduino*.

### 2.10.3 *Proteus*

O *software Proteus VSM* desenvolvido na Inglaterra pela empresa *Labcenter electronics*, é uma ferramenta versátil utilizada por profissionais da eletrônica, projetistas e estudantes do mundo todo, seu principal objetivo é a criação de circuitos eletrônicos e projetos, um grande diferencial que o *software proteus* tem é a capacidade de poder simular os circuitos elétricos e microcontrolados, um outro ponto que torna o *proteus* uma ferramenta ideal para projetos e o fato de poder criar layouts de placas eletrônicas, dentro do *software proteus* existe quatro módulos importantes que trabalham em conjunto fornecendo as ferramentas necessárias

para o seu funcionamento são eles: *ISIS* (Sistema de entrada de esquemático inteligente) ou seja o ambiente gráfico onde é desenvolvido os circuitos; um outro módulo importante para o funcionamento do *Proteus* e o *VSM* (Modulação de sistema virtual) esse módulo é responsável pela animação e simulação feita no *proteus*, *PRO-SPICE* responsável por executar as operações matemáticas e o *ARES* (*Layout* com Roteamento avançado), os *layouts* de placas são realizados no *Ares* onde o mesmo possui uma interface própria (ZAMBONI, 2011).

Figura 24 – Interface do *software proteus*



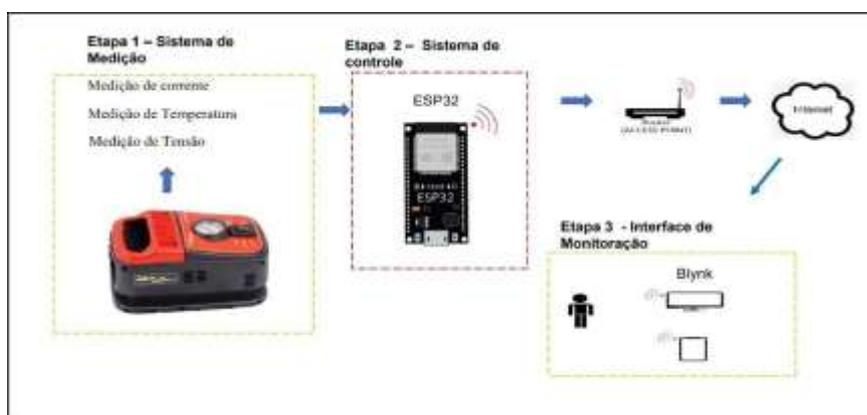
Fonte: Própria (2022)

### 3 MATERIAS E MÉTODOS

Neste capítulo será abordada a metodologia que foi utilizada no desenvolvimento do projeto de acordo com cada etapa é os materiais usados, o sistema consiste em fazer a monitoração da tensão elétrica, corrente e temperatura de um compressor utilizando sensores e circuitos para fazer a leitura das respectivas grandezas que se deseja monitorar, a Figura 25 mostra a composição do projeto de acordo com cada etapa.

Na primeira etapa do projeto mostra a construção do sistema de medição. Essa etapa mostra as características do compressor que foi utilizado no projeto e suas especificações mostra também o princípio de funcionamento de cada sensor e os circuitos usados para fazer a aquisição de sinais que foi utilizado para realizar as medições.

Figura 25 - Esquema ilustrativo do protótipo de monitoramento



Fonte: Própria (2022)

Na segunda etapa do projeto mostra o módulo que foi utilizado para fazer a aquisição dos dados, seu processamento e envio deles. A etapa 3 mostra-se a interface de monitoração para o usuário final.

#### 3.1 Sistema de Medição

Essa etapa do sistema de medição do projeto é uma das mais importantes, portanto se faz necessário ter uma análise fundamentada do que se deseja medir e quais sensores e circuitos de condicionamento de sinais utilizar para fazer a medição das grandezas.

##### 3.1.1 Compressor usado no projeto

O compressor portátil *air plus Schulz* é bastante utilizado no cotidiano para inflagem de pneus e demais produtos infláveis, com alimentação para tensão alternada de 127 volts e

corrente nominal de 1,2 A, equipado com manômetro indicador de pressão e uma chave seletora de alimentação de energia, possui um pequeno volume de pressão de 40 psi, como mostra a Figura 26.

O compressor foi o equipamento escolhido para fazer a monitoração pelo fato de ser fundamental dentro dos processos industrial ou comercial, o ar comprimido é considerado uma das fontes de energia mais utilizadas pelo fato de ser altamente seguro.

Figura 26 - Compressor usado no projeto

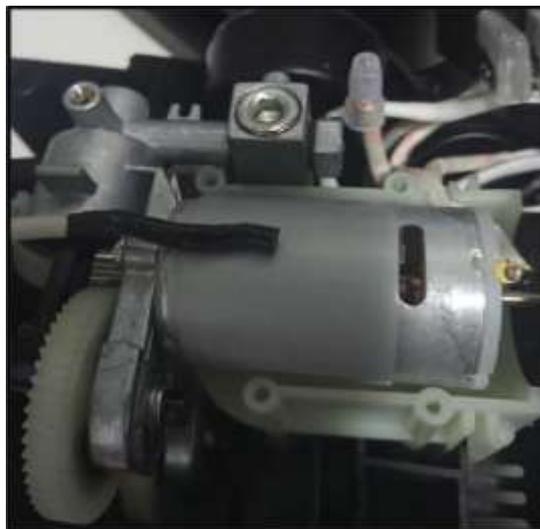


Fonte: Própria (2022)

### 3.1.2 Circuito de medição de temperatura usado no protótipo

Para realizar o monitoramento da temperatura utilizou-se o CI Lm35 posto em cima do motor do compressor, na Figura 27 é mostrado.

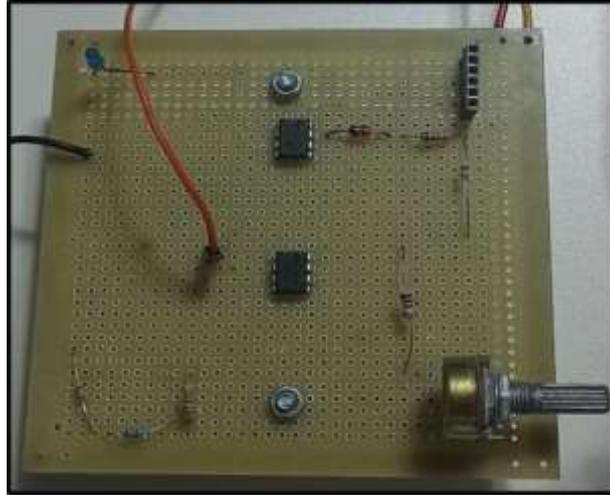
Figura 27 - Sensor Lm35 em cima do motor do compressor



Fonte: Própria (2022)

A tensão de saída do Lm35 vai para um circuito amplificador de sinal onde ele amplifica o sinal de tensão enviando à um circuito comparador, tudo montado em uma pequena placa de ensaio, na Figura 28 é mostrado a placa com o circuito que faz a leitura da temperatura.

Figura 28 - Circuito de medição de temperatura



Fonte: Própria (2022)

O circuito é dividido em duas partes; na primeira parte do circuito o sensor Lm35 e alimentado com 5V e na saída fornece uma tensão de 10 milivolts para cada grau de temperatura lido essa tensão é proporcional a temperatura lida, a tensão entra no pino 3 entrada não inversora do amplificador operacional Lm358 onde o mesmo através de um ganho calculado de 6,7 K e responsável por amplificar o sinal de saída do Lm35, esse ganho é mostrado na Figura 29.

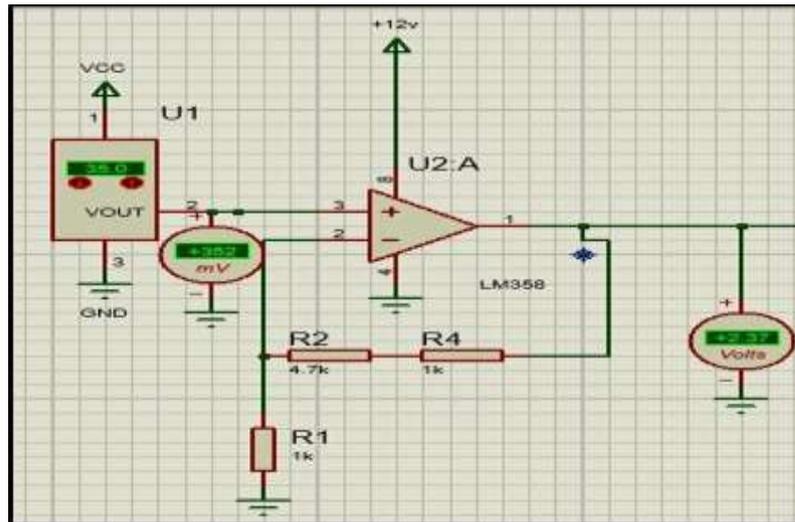
Figura 29 - Circuito de medição de temperatura

$$\begin{aligned} \text{Ganho} &= \frac{R2+R4}{R1} + 1 = \\ \text{Ganho} &= \left( \frac{4,7k + 1k}{1k} \right) + 1 = 6,7k \end{aligned}$$

Fonte: Própria (2022)

Essa tensão é recebida por uma entrada analógica da *ESP 32* que através de um código criado irá processar os cálculos, na Figura 30 mostra essa primeira parte do circuito.

Figura 30 - Circuito de Temperatura com amplificador de sinal



Fonte: Própria (2022)

Para cada grau de temperatura lido pelo sensor Lm35 multiplicado pelo ganho tem-se um valor diferente de tensão na saída do amplificador Lm358, na Tabela 1 tem-se uma relação da temperatura lida com o valor de tensão obtido na saída.

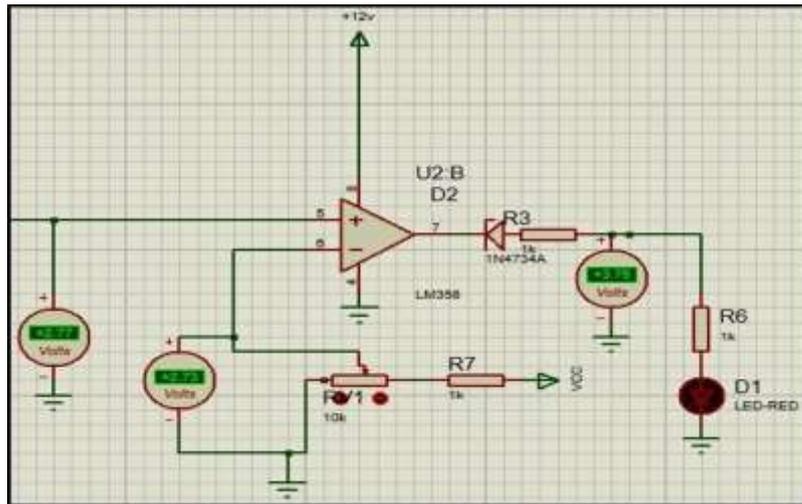
Tabela 1: Temperatura lida X valor de tensão

Temperatura C°	Tensão Volts
35 C°	2,31 Volts
36 C°	2,38 Volts
37 C°	2,45 Volts
38 C°	2,52 Volts
39 C°	2,65 Volts
40 C°	2,73 Volts

Fonte: Própria (2022)

A segunda parte temos um circuito comparador que foi utilizado para comparar a tensão de saída do primeiro amplificador mostrado na Figura 31, com um valor que pode ser ajustado pelo potenciômetro do divisor de tensão, ou seja, se a tensão que entra no terminal positivo pino 5 for maior que a tensão de referência que entra no terminal negativo pino 6, o segundo amplificador ativa a saída acionando um *led* ou o mesmo poderia ser usado para mandar uma mensagem de alta temperatura.

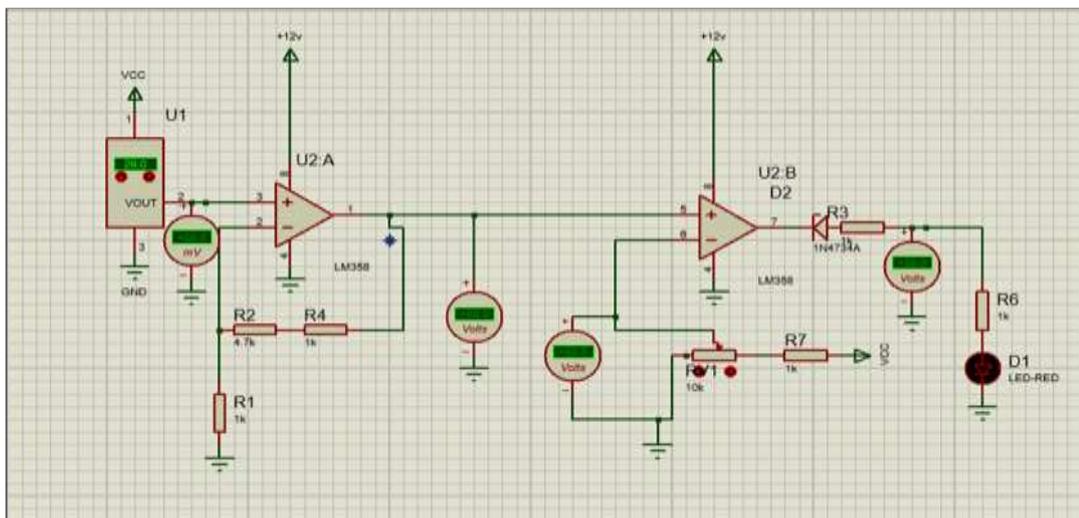
Figura 31 - Circuito comparador



Fonte: Própria (2022)

Na Figura 32 tem-se o circuito de monitoramento da temperatura completa.

Figura 32 - Circuito de monitoramento de temperatura completo



Fonte: Própria (2022)

Na Figura 33, tem-se a linha de código criado para fazer a leitura realizando a conversão para graus Celsius.

Figura 33 - Linha de código para leitura da temperatura

```

/* Temperatura em Celsius */
lm35_temperature = (voltage/10/6.7)-2;
delay(1500);
return lm35_temperature;
}

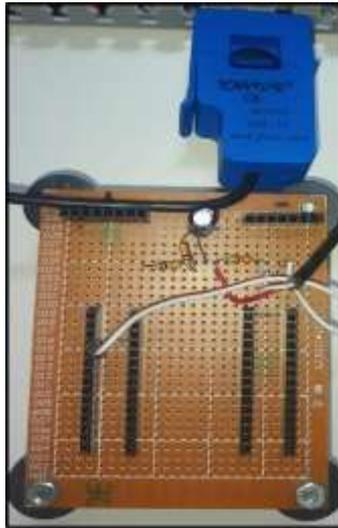
```

Fonte: Própria (2022)

### 3.1.3 Circuito de medição de corrente

O sensor que foi escolhido para fazer a medição da corrente alternada foi o sensor SCT-013 (0 a 20 A) do tipo não invasivo ou seja não há necessidade de se interromper o circuito para fazer a medição, junto com o sensor foi utilizado um circuito com divisor de tensão que utiliza dois resistores de 10k, um capacitor de offset de 100 uF em paralelo com o resistor R2, na saída um resistor de carga de 330 ohm que tem por finalidade converter o sinal de corrente alternada lido pelo sensor SCT-013 em sinal de tensão dentro da escala da entrada analógica do Esp 32 que vai de 0V a 3,3V, a Figura 34 mostra o circuito de corrente utilizado no projeto.

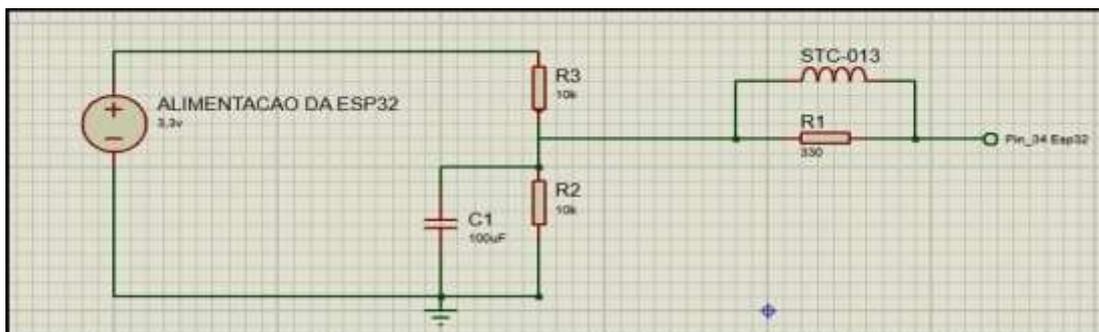
Figura 34 - Circuito de medição de corrente



Fonte: Própria (2022)

A função principal do circuito divisor de tensão além de dividir a tensão entre os dois resistores diminuindo-a para 1,65 volts, tem a função de levar essa tensão somente para o semiciclo positivo pois a Esp 32 não consegue medir a tensão negativa. Na Figura 35 é mostrado todo esquema do circuito que mede a corrente do sistema.

Figura 35 - Esquema do circuito medidor de corrente com sensor SCT013



Fonte: Própria (2022)

Na Figura 36 mostra-se o código do circuito de medição de corrente, a primeira parte do código mostra o seu fator de calibração, na segunda parte tem-se uma variável *double* chamada *Irms* que recebe o valor calculado pela biblioteca *calcIrms* (2480) onde o resultado de retorno do cálculo é posto dentro da variável *Irms*.

Figura 36 - Linhas de código para leitura da corrente

```

 * @param sensor_pin Pino do ESP32
 * @param factor_calibration Fator de calibração para leituras do sensor de corrente
 */
void sct013_begin(int sensor_pin, float factor_calibration)
{
    SCT013.current(sensor_pin, factor_calibration); //3.3090
}

/**
 * @brief Get the current object
 *
 * @return float Retorna o valor lido do sensor de corrente
 */
float get_current()
{
    double Irms = SCT013.calcIrms(2480); // Calcula o valor da Corrente
    return Irms;
}

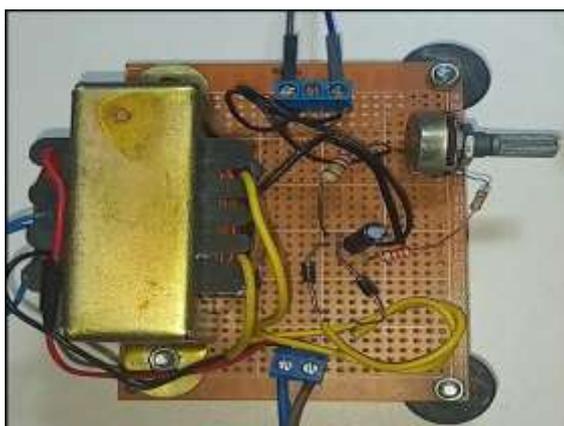
```

Fonte: Própria (2022)

### 3.1.4 Circuito de medição de tensão

O medidor de tensão, Figura 37, consiste em um retificador de onda completa com uma derivação central seguido de um capacitor em paralelo com um divisor de tensão é um potenciômetro que faz o ajuste da tensão de referência, o medidor de tensão usado no projeto recebe na sua entrada uma tensão alternada essa tensão passa por um transformador reduzindo-a para 12 volts que chega nos diodos D1 e D2 que são responsáveis por retificar a tensão, após retificada, a tensão passa pelo capacitor que retira a oscilação deixando-a estável chegando até o divisor de tensão o qual diminui essa tensão para uma tensão de referência que a entrada analógica da *Esp 32* suporte uma vez que o controlador consegue ler até 3,3 volts.

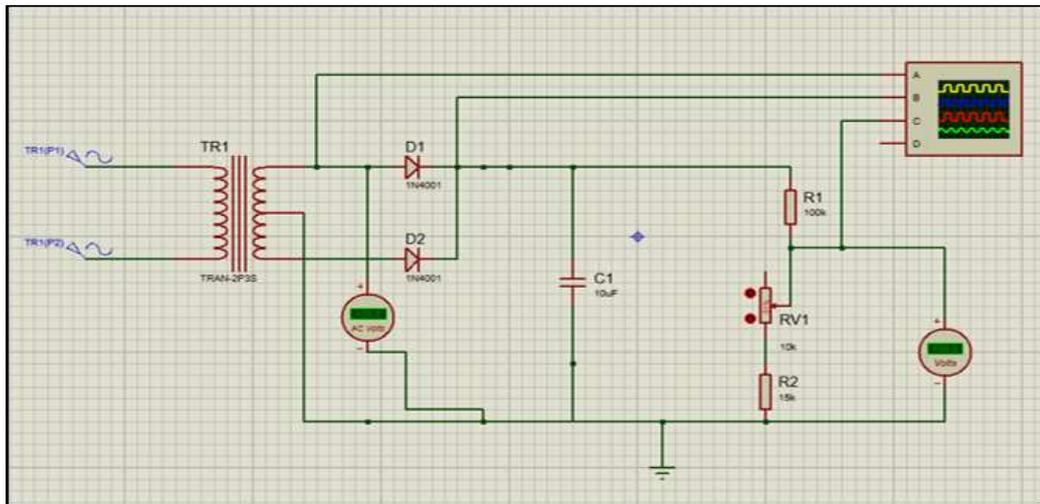
Figura 37 - Circuito medidor de tensão



Fonte: Própria (2022)

Na Figura 38 mostra o esquemático do circuito medidor de tensão utilizando o software Proteus.

Figura 38 - Esquema do circuito de medição de tensão



Fonte: Própria (2022)

Na Figura 39, e visto as linhas de código usado para fazer os cálculos da leitura da tensão elétrica, na primeira parte temos a variável do tipo analógica que faz a leitura do sinal de tensão de entrada, e na segunda parte foi utilizado uma função no programa que faz uma comparação baseado em uma regra de três dentro dos intervalos dos valores de 1859 a 3723 levando em consideração que a *Esp 32* possui em seu canal de entrada ADC uma resolução de 12 bits, convertendo uma leitura analógica de 0 a 3,3 v para uma leitura digital de 0 a 4095.

Figura 39 - Código para leitura para tensão elétrica

```

/***** FUNÇÃO PARA LER A TENSÃO_PIN (32) E CALCULAR A TENSÃO *****/
float get_tensao(int pin)
{
    float tensao = analogRead(pin); // Ler valor do conversor analógico
    tensao = map(tensao,1859,3723,116,220); // muda a escala dos valores para valores de tensão.
    return tensao;
}

```

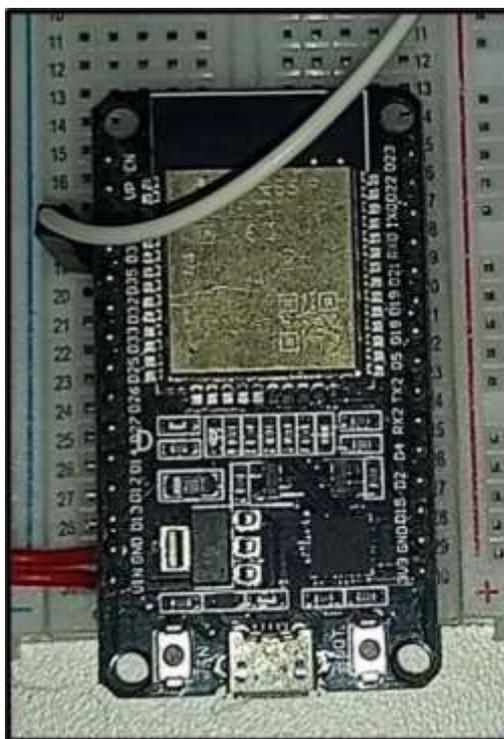
Fonte: Própria (2022)

### 3.2 Sistema de Controle

Para o projeto foi escolhido como hardware de controle a *Esp 32*, a escolha se pelo fato da *Esp 32* já possuir um *wi-fi* integrado, sem a necessidade de outros Shields para fazer a comunicação, o funcionamento consiste basicamente em ler as informações das

variáveis monitoradas; tensão elétrica, corrente elétrica e temperatura do compressor utilizado no trabalho executando o seu processamento, tratando-a através dos códigos criados enviando as informações via internet através do seu módulo *wi-fi* integrado ao servidor *blynk*. A Figura 40 mostra a Esp 32 utilizado para fazer o controle do protótipo em questão.

Figura 40 - Esp32 usado no projeto



Fonte: Própria (2022)

### 3.3 Interface de Monitoração

Para monitoração em tempo real das grandezas que se deseja visualizar no protótipo, foi criado dentro da plataforma *Blynk* uma interface com três medidores *gauge* um para cada grandeza, tensão elétrica, corrente elétrica e temperatura toda a comunicação entre o aplicativo e o hardware se dá através do *cloud blynk*, o servidor transmite os dados ao hardware ele também faz o armazenamento do estado do aplicativo e do *hardware*, armazenando os dados de sensores lidos pelo hardware mesmo se o aplicativo não estiver aberto.

Vale ressaltar que é possível fazer a monitoração pelo aplicativo instalado no celular e também pelo computador através da conta criada na plataforma.

Figura 41 - Interface de monitoração pelo computador



Fonte: Própria (2022)

A Figura 41 e 42 mostram os medidores *gauge* criados na plataforma para mostrar a leitura em tempo real dos sensores do protótipo, os quais refletem a captura dos dados recebidos pela ESP32.

Figura 42 - Interface de monitoração pelo aplicativo no Smartfone



Fonte: Própria (2022)

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão mostrados os testes e os resultados obtidos do protótipo de monitoração bem como as análises sobre as medições que se obteve no trabalho e a viabilidade do projeto.

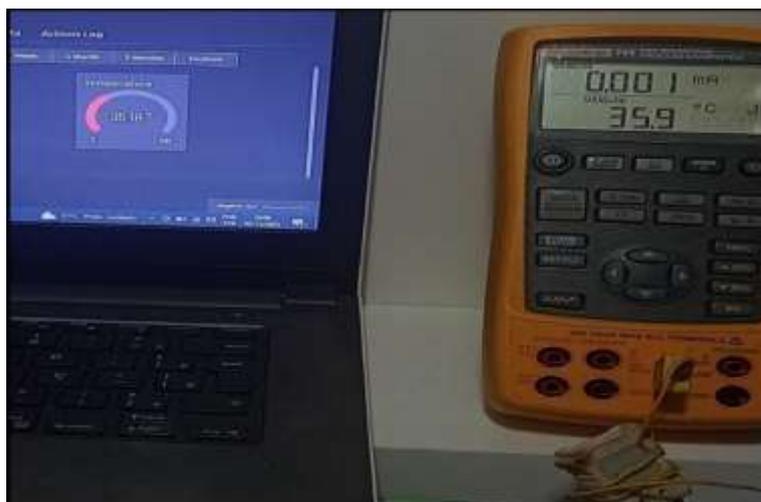
Para as comprovações das medições de corrente temperatura e tensão que se propôs fazer no referente trabalho, foi utilizado aparelhos de medição calibrados onde foram observadas pequenas diferenças do valor medido no instrumento de medição para o valor lido no supervisor, no entanto esses valores estão bem próximos da tolerância.

### 4.1 Resultado da Medição de Temperatura

Para comprovação da medição de temperatura como mencionado utilizou-se o termopar do calibrador de processo multifuncional 725 da Fluke com resolução de  $0,1\text{ C}^\circ$  e precisão de medida de  $0,7\text{ C}^\circ$  em uma escala de 0 a  $100\text{ C}^\circ$ , a ponta do sensor do instrumento colocou-se em cima do motor ao lado do sensor de temperatura Lm35 que foi utilizado para fazer a medição da temperatura do protótipo, para a comprovação da eficácia do valor monitorado remotamente com o valor real lido no instrumento, foi realizado a medição em diferentes momentos, com o motor desligado em temperatura ambiente e com o motor em funcionamento com uma temperatura mais elevada.

A Figura 43 mostra o valor da temperatura lido no supervisor e o valor da temperatura medido no instrumento de medição com o motor ligado, percebeu-se que conforme o aumento da temperatura o resultado lido no supervisor se torna mais próximo do valor real medido no aparelho.

Figura 43 – Monitoramento da temperatura



Fonte: Própria (2022)

Na Figura 43 é possível ver o valor lido de temperatura no medidor 35,9 C° e o valor lido no supervisor de 35,18C°, onde temos uma diferença de 0,72 C°; foram coletadas sete amostras no intervalo de sete dias com diferentes graus de temperatura na Tabela 2 mostra os valores obtidos, levou-se em consideração alguns fatores que contribuem para os resultados como o tempo que o compressor permaneceu ligado, a temperatura do ambiente na hora da coleta de cada amostra, observou-se também a pressão do ar comprimido na saída.

Tabela 2: Valores de amostras de temperatura

Tempo Compressor Ligado	Temperatura do Ambiente na hora da Coleta	Pressão do Ar Comprimido na Saída	Temperatura Lida no Instrumento de Medição	Temperatura Lida no Supervisor
1 Minuto	29,9 C°	11 psi	33,4 C°	32,8 C°
2 Minuto	28,9 C°	15 psi	35,5 C°	34,4 C°
3 Minuto	28,7 C°	10 psi	38,2 C°	38,9C°
4 Minuto	29,9 C°	10 psi	39,9 C°	39,9 C°
5 Minuto	30,0 C°	12 psi	40,3 C°	40,6 C°
6 Minuto	28,6 C°	10 psi	43,6 C°	44,5 C°
7 Minuto	29,5 C°	13 psi	45,2 C°	45,9 C°

Fonte: Própria (2022)

## 4.2 Resultado da Medição de Corrente

Para medição de corrente utilizou-se o alicate amperímetro digital Minipa ET- 3111 que possui uma resolução de 10 mA e precisão de  $\pm 3\% + 8$  dígitos na escala de 20 Amper, onde observou-se uma pequena diferença do valor medido no alicate amperímetro com o valor lido no supervisor, na Figura 44 e visto o valor medido no instrumento com o valor lido no supervisor.

Figura 44 – Monitoramento de corrente



Fonte: Própria (2022)

Na Figura 44 é possível observar o valor lido de corrente de 0,52A no alicate amperímetro e o valor lido no supervisorío de 0,64 Onde temos uma diferença de 0,12A, foram coletadas sete amostras para validação da eficácia do projeto proposto no intervalo de sete dias, na Tabela 3 é possível ver os valores obtidos da medição feita com o instrumento em relação com o valor lido no supervisorío, levou-se em consideração alguns fatores que contribuem para os resultados como o tempo que o compressor permaneceu ligado, a temperatura do ambiente na hora da coleta de cada amostra, observou-se também a pressão do ar comprimido na saída.

Tabela 3: Valores de amostras de corrente

Tempo Compressor Ligado	Temperatura do Ambiente na hora da Coleta	Pressão do Ar Comprimido na Saída	Corrente Lida no Instrumento de Medição	Corrente Lida no Supervisorío
1 Minuto	29,9 C°	11 psi	0,56 A	0,61 A
2 Minuto	28,9 C°	15 psi	0,74 A	0,76 A
3 Minuto	28,7 C°	10 psi	0,59 A	0,61 A
4 Minuto	29,9 C°	10 psi	0,58 A	0,60 A
5 Minuto	30,0 C°	12 psi	0,69 A	0,70 A
6 Minuto	28,6 C°	10 psi	0,59 A	0,59 A
7 Minuto	29,5 C°	13 psi	0,70 A	0,73 A

Fonte: Própria (2022)

### 4.3 Resultado da Medição de Tensão

Para comprovação da medição de tensão elétrica do protótipo utilizou-se o voltímetro do multímetro Fluke 302+ na escala de tensão alternada o mesmo possui uma resolução de 0,1 V e precisão de  $1,5\% \pm 5$  dígitos (45 Hz a 400 Hz) onde observou-se uma pequena diferença do valor medido no multímetro com o valor lido no supervisorío, porém essa pequena alteração se dá pelo fato da oscilação da rede; na Figura 45 mostra o valor de tensão lido do compressor no supervisorío e o valor medido com o aparelho.

Figura 45 – Monitoramento da tensão elétrica



Fonte: Própria (2022)

Na Figura 45 é possível ver o valor lido de 124,7 volts no voltímetro, e o valor lido no supervisor de 122 volts, com uma diferença de 2,7 volts, foi realizado no período de sete dias uma vez ao dia medições de tensão para comprovação da eficácia do protótipo observou-se uma pequena variação da medição real para o valor monitorado no sistema, na Tabela 4 tem-se os valores de amostras de tensão obtidos, assim como a temperatura e a corrente levou-se em consideração alguns fatores que contribuem para os resultados como o tempo em que o compressor permaneceu ligado, a temperatura do ambiente na hora da coleta de cada amostra, observou-se também a pressão do ar comprimido na saída.

Tabela 4: Valores de amostras de Tensão

<b>Tempo Compressor Ligado</b>	<b>Temperatura do Ambiente na hora da Coleta</b>	<b>Pressão do Ar Comprimido na Saída</b>	<b>Tensão Lida no Instrumento de Medição</b>	<b>Tensão Lida no Supervisor</b>
1 Minuto	29,9 C°	11 psi	137 V	136,5 V
2 Minuto	28,9 C°	15 psi	136 V	134,4 V
3 Minuto	28,7 C°	10 psi	137 V	135,6 V
4 Minuto	29,9 C°	10 psi	136 V	133,4 V
5 Minuto	30,0 C°	12 psi	136 V	135,3 V
6 Minuto	28,6 C°	10 psi	135 V	134,2 V
7 Minuto	29,5 C°	13 psi	134 V	136 V

Fonte: Própria (2022)

#### 4.4 Resultados de Medição Final do Supervisor Comparado com o Real

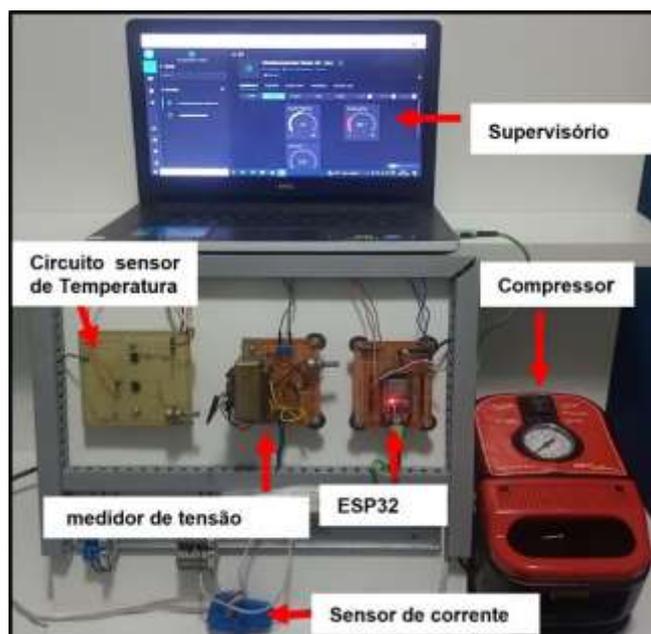
E como comprovação de viabilidade do sistema de monitoramento proposto no referido trabalho, foi coletado amostras em diferentes horários de cada uma das variáveis que se propôs medir no trabalho, na Tabela 5 mostra os resultados obtidos de um dia de medição dos valores lidos no supervisor e os valores obtidos com os instrumentos de medição.

Tabela 5: Resultados de medições e monitoramento de um dia

	<b>Tensão no Supervisor</b>	<b>Temp. no Supervisor</b>	<b>Corrente no supervisor</b>	<b>Tensão no voltímetro</b>	<b>Temp. no medidor</b>	<b>Corrente no Amp</b>
14/12/2022 08:00	126 V	25,9 C°	0,6 A	124,6 V	26,4 C°	0,53 A
14/12/2022 11:00	124 V	27,8 C°	0,64 A	123 V	28,5 C°	0,52 A
14/12/2022 13:00	122 V	33,3 C°	0,58 A	123,8 V	32,9 C°	0,52 A
14/12/2022 15:00	123 V	34,4 C°	0,59 A	123,4 V	35,5 C°	0,54 A
14/12/2022 17:00	124 V	39,2C°	0,52 A	123,9 V	39,8C°	0,55 A

Fonte: Própria (2022)

Figura 46 - Protótipo final



Fonte: Própria (2022)

#### 4.5 Custo do Protótipo Proposto

Um dos objetivos proposto no trabalho foi desenvolver um protótipo de monitoramento remoto de baixo custo utilizando a plataforma *blynk* em conjunto com o Esp 32 para fazer o controle das variáveis. Vale ressaltar que sistemas de monitoramento remoto industrial possui um custo muito elevado no mercado, um exemplo de aplicação que encontramos no mercado seria utilizando uma IHM delta com o sistema VNC *Viewer* que possui um valor de 6 mil reais, em conjunto com um CLP (controlador lógico programável) FX5U-32MT/DS Mitsubishi com um valor de 4,782 reais, incluindo no projeto um sensor de temperatura do tipo PT 100 e um sensor de corrente TC do tipo industrial, gastaríamos para fazer em uma aplicação industrial algo em torno de 12 mil reais. A Tabela 6 apresenta os custos que foram gastos para desenvolver o protótipo de monitoramento remoto das grandezas do compressor, podendo futuramente lançar um produto mais acessível e de qualidade no mercado, levando em consideração todos os pontos de melhorias que precisam ser feitos.

Tabela 6: Custos do Protótipo Proposto

<b>Material</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Preço Unitário</b>	<b>Total</b>
Compressor portátil <i>air plus Schulz</i>	1 Un.	R\$440,28	R\$440,28
Placa DOIT ESP32 Bluetooth e WiFi	1 Un.	R\$70,92	R\$70,92
Amplificador Operacional LM358	2 Un.	R\$1,53	R\$3,06
Resistor de 1 K	5 Uni.	R\$0,42	R\$2,10
Potenciômetro Linear de 10K (10000Ω)	2 Uni.	R\$3,15	R\$6,30
Resistor de 10 K	2 Uni.	R\$0,75	R\$1,50
Capacitor Eletrolítico 100 uF	1 Un.	R\$0,75	R\$0,75
Capacitor Eletrolítico 10 uF	1 Un.	R\$0,65	R\$0,65
Diodo 1N4001	2 Un.	R\$1,00	R\$2,00
Placa Fenolite Perfurada Ilhada 7x9	2 Un.	R\$6,50	R\$13,00
Placa Fenolite Perfurada Ilhada 10x10	1 Un.	R\$14,00	R\$14,00
Barra de Pinos Femea 1x40 vias com Passo de 2,54mm	2 Un.	R\$3,00	R\$6,00
Sensor de Corrente SCT-013 Não Invasivo 20 A	1 Un.	R\$60,00	R\$60,00
Painel MDF 40x40	1 Un.	R\$50,00	R\$50,00
Sensor de Temperatura LM 35	1 Un.	R\$19,00	R\$19,00
<b>Total</b>			<b>R\$689,56</b>

Fonte: Própria (2023)

## 5 CONCLUSÕES

Como proposto, foi desenvolvido e apresentado neste trabalho, um sistema IoT para monitoramento de tensão, corrente e temperatura de um compressor, utilizando circuitos de sensoriamento e condicionamento de sinais para fazer a captura dos sinais das variáveis, possibilitando o monitoramento desse circuito de forma local ou remota.

Para o desenvolvimento do projeto foi posto em prática a importância dos estudos de medições de grandezas como tensão, corrente e temperatura e o estudo de sensores e circuitos eletrônicos, além de toda a base teórico-prática para a composição dos códigos e definição da arquitetura do sistema.

Como resultados gerais, devido a resolução dos circuitos de sensores adotados, estes se mostram ser capazes de realizar a aquisição da leitura das variáveis em níveis de protótipo e para aplicações em campo aberto, para uso industrial recomenda-se apenas a substituição dos elementos sensoriais por componentes mais robustos (maior resolução e melhor desempenho mediante a interferências de temperatura, umidade e magnéticas).

O microcontrolador ESP32 adotado, mostrou-se eficiente para fazer o processamento e envio dos dados via internet, com taxas significativas de tempo de resposta pelo módulo de Wi-Fi integrado, os quais apresentam desempenho significativo com precisão ao longo dos testes realizados.

A plataforma *blink* a qual foi escolhida para fazer o desenvolvimento do supervisor mostrou os resultados de forma clara e coerente com as medições que foram feitas utilizando instrumentos de medição, a mesma pode ser programada de forma simples e didática podendo ser usada para diferentes aplicações até mesmo comerciais.

Com base nos resultados obtidos, observou que na medição de temperatura os valores lidos no supervisor se encontra bem próximo do valor lido no aparelho de medição porém com uma diferença de  $\pm 0,72\text{ C}^\circ$ , o qual em termos cotidianos torna-se insignificante, na medição de tensão elétrica os valores obtidos pelo supervisor também foram próximos aos valores de referência de um voltímetro, apresentando uma diferença de 2,7 volts, o que nesse caso dependendo da aplicação recomenda-se o uso de um sensor industrial mais apropriado.

Considerando os valores obtidos de corrente, encontrou-se uma diferença de 0,12 A, o que em termos gerais é ocasionado pelo fato de a corrente nominal do compressor ser muito baixa e a escolha do resistor de carga usado no circuito precisar de maiores ensaios para uma determinação mais precisa, minimizando o erro. Contudo, para boa parte de aplicações comerciais esta diferença é aceitável.

Neste cenário, conclui-se que é possível fazer soluções de baixo custo para monitoramento de uma planta industrial, acrescentando elementos da indústria 4.0, como o monitoramento remoto, permitindo uma maior flexibilidade nas aplicações industriais e comerciais.

Para projetos futuros sugere-se o uso dos sensores de tensão e corrente mais robustos, fazendo comparações a partir do emprego de outros microcontroladores de modo a prover comparações de performances, além de possibilitar a comunicação por outros tipos de redes sem fio constituídas por protocolos utilizados na comunicação Bluetooth e LoRa. Incluir medição de grandezas como fonaut, criar um sistema de redundância em caso de falta de energia, um outro ponto seria em criar mecanismos para colocar o compressor em *stand by*.

Sugere-se para trabalhos futuros incluir o monitoramento do nível do ruído de acordo com a exposição do operador como define a Norma Regulamentadora NR15, uma vez que equipamentos como o compressor gera ruídos bastante elevado.

## REFERÊNCIAS

- [1] ALMEIDA, H. Apresentação - Internet das Coisas: Tudo Conectado. Computação Brasil - Revista da Sociedade Brasileira de Computação, 7-8. Acesso em 02 de jan. 2022. Disponível em Apresentação - Internet das Coisas: Tudo Conectado: [http://www.sbc.org.br/images/flippingbook/computacaobrasil/computa\\_29\\_pdf/comp\\_brasil\\_2015\\_4.pdf](http://www.sbc.org.br/images/flippingbook/computacaobrasil/computa_29_pdf/comp_brasil_2015_4.pdf)
- [2] ATZORI, Luigi; IERA, Antonio; MORABITO, Giacomo. The Internet of Things: A survey. [S.l.]: Computer Networks, 2010. 2805 p.
- [3] BATISTA, T. Transformadores de corrente com núcleo de liga nano cristalina utilizados para serviços de medição e proteção em sistemas elétricos. 2015.109f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Centro de Engenharia Elétrica e Informática, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, 2014. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/bitstream/riufcg/9438/3/THIAGO%20DE%20CARVALHO%20BATISTA%20-%20TESE%20PPGEE%202014.pdf>
- [4] BENTLEY, J. P. Sistemas de medición, principios y aplicaciones. 1.ed. México: Continental S.A, 1993.
- [5] BRAGA, N. Todos os Tipos de Sensores. 2022. Disponível em: <<https://www.newtoncbraga.com.br/index.php/electronica/52-artigos-diversos/9875-todos-os-tipos-de-sensores-art1158> > Acesso em 29 ago. 2022>.
- [6] CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. Oportunidades para a indústria 4.0: aspectos da demanda e oferta no Brasil. Brasília: CNI, 2017. Disponível em < <https://www.fiema.org.br/uploads/revista/7073/4OS34A9gbSYwx-HwSAr4ySpIkptR0Euu.pdf> >
- [7] COELHO, A. P. Projeto de um Sistema para Medição de Consumo e Análise da Qualidade da Energia Elétrica para Sistemas Monofásicos. 2020. 59 f. TCC (Graduação em Engenharia Elétrica) - Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais, 2020. Disponível em: <[https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/2713/6/MONOGRAFIA\\_ProjetoSistemaMedi%C3%A7%C3%A3o.pdf](https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/2713/6/MONOGRAFIA_ProjetoSistemaMedi%C3%A7%C3%A3o.pdf)> Acesso em 22 jan 2023.
- [8] DOIT ESP 32 DEV KIT V1 PINAGEM E ESPECIFICAÇÕES DE ALTA RESOLUÇÃO, 2021. Disponível em: < <https://www.mischianti.org/2021/02/17/doit-esp32-dev-kit-v1-high-resolution-pinout-and-specs/> > Acesso em 11 set. 2022.

- [9] ESPRESSIF. ESP32 Series Datasheet, 2022. Disponível em:  
<<https://html.alldatasheet.com/htmlpdf/1148023/ESPRESSIF/ESP32/5703/10/ESP32>>
- [10] PRUDENTE, F. Automação Industrial Pneumática: Teoria e Aplicações. 1.ed. Rio de Janeiro: LTC.2015.
- [11] LIMA, F. R; GOMES, R. Conceitos e Tecnologias da Industria 4.0: uma análise bibliométrica. 2020. Disponível em:  
<<https://www.scielo.br/j/rbi/a/x6jdz4t869KnNFWRdgqVyws/?lang=pt#>>. Acesso em 29 nov. 2022.
- [12] QUINN, T.J. Temperature. 2.ed. San Diego: Imprensa Acadêmica, 2013. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780125696814500038> >. Acesso em 16 agosto.2022.
- [13] MCMILLAN, Gregory k. Advanced Temperature Measurement and Control. 2. ed. EUA Carolina do Norte: Isa, 2011.
- [14] SOARES, P. Sistema de Avaliação Preditiva de Falhas em Máquinas Elétricas Usando Lógica Fuzzy com Análise dos Parâmetros de Vibração, Corrente e Temperatura. 2014.157f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo,2014.
- [15] MOREIRA, L. Medição de Temperatura Usando-se Termopar. Revista Cerâmica Industrial,7(5)Set/Out,2002.SãoPaulo. Disponível em:  
<<https://ceramicaindustrial.org.br/article/587657157f8c9d6e028b467d/pdf/ci-7-5-587657157f8c9d6e028b467d.pdf>>. Acesso em 01 dez.2022.
- [16] BENTLEY, J. P. Sistemas de medición, principios y aplicaciones. 1.ed. México: Continental S.A, 1993.
- [17] MATTEDE, H. Principais Características da Corrente Elétrica. 2022. Disponível em <<https://www.mundodaeletrica.com.br/principais-caracteristicas-da-corrente-eletrica> >. Acesso em 29 ago. 2022.
- [18] JONES, A.Z. O que é uma corrente elétrica? ThoughtCo, 28 de agosto de 2020. Disponível em <[thoughtco.com/electrical-current-2698954](https://www.thoughtco.com/electrical-current-2698954) > Acesso em 17 ago. 2022.
- [19] FOWLER, Richard. Fundamentos de Eletricidade: Corrente Contínua e Magnetismo.7. ed. Porto Alegre: AMGH,2013.
- [20] SMITH, G. M. Como Medir a Corrente usando Sensores e Transdutores de Corrente. 2021. Disponível em: <<https://dewesoft.com/br/aquisicao-de-dados/como-medir-corrente-usando-sensores-de-corrente>> Acesso em: 22 ago. 2022.

- [21] THOMAZINI, D.; ALBUQUERQUE, P.U.B. Sensores Industriais: Fundamentos e Aplicações. 9.ed. São Paulo: Érica, 2020.
- [22] MECAFENIX – Sensor de Temperatura Termistor Ntc e Ptc. Disponível em: <<https://www.ingmecafenix.com/automatizacion/termistor-sensor-temperatura/>> Acesso em 29 ago. 2022.
- [23] BRAGA, N. Todos os Tipos de Sensores. 2022. Disponível em: <<https://www.newtonbraga.com.br/index.php/electronica/52-artigos-diversos/9875-todos-os-tipos-de-sensores-art1158>> Acesso em 29 ago. 2022.
- [24] National semiconductor. Datasheet: LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors, 2000. Disponível em:< <https://pdf1.alldatasheetpt.com/datasheet-pdf/view/8866/NSC/LM35.html> > Acesso em 30 ago. 2022.
- [25] TEIXEIRA, G.T. Retificador de onda completa com center tape. 09 de abril de 2019. Disponível em: <<http://projtecc.com/eletricidade/electronica-basica/retificador-de-onda-completa-com-ct/>> Acesso em 31 out 2022.
- [26] WENDLING, Marcelo. Amplificadores Operacionais. 2010. Disponível em: <<https://www.feg.unesp.br/Home/PaginasPessoais/ProfMarceloWendling/3---amplificadores-operacionais-v2.0.pdf>> Acesso em 28 nov 2022.
- [27] ESPRESSIF. Datasheet ESP32, 2022. Disponível em: <<https://html.alldatasheet.com/htmlpdf/1148023/ESPRESSIF/ESP32/5703/10/ESP32>>
- [28] DOIT ESP 32 DEV KIT V1 PINAGEM E ESPECIFICAÇÕES DE ALTA RESOLUÇÃO,2021. Disponível em: < <https://www.mischianti.org/2021/02/17/doit-esp32-dev-kit-v1-high-resolution-pinout-and-specs/>> Acesso em 11 set.2022.
- [29] USINAINFO. LM358, 2022. Disponível em: <<https://www.usinainfo.com.br/amplificador-operacional/lm358-amplificador-operacional-4597.html>> Acesso em 11 set 2022.
- [30] SERRANO, Tiago Medicci. Introdução ao Blynk App. 2022. Disponível em: <<https://embarcados.com.br/introducao-ao-blynk-app/>> Acesso em 11 set 2022.
- [31] SOBRINHO, A.F. Princípio de Funcionamento de Sensores. 2008. 70 f. TCC (Graduação em Engenharia Elétrica) - Centro de Engenharia Elétrica e Informática, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba,2008. Disponível em: <<file:///C:/Users/joadson/Downloads/ALMIR%20FARIAS%20DA%20PAIX%C3%83O%20SOBRINHO%20-%20TCC%20ENG.%20EL%C3%89TRICA%202008.pdf>> Acesso em 09 jan 2023.

- [32] OLIVEIRA, S. Internet das coisas com ESP8266, Arduino e Raspberry PI. 1. ed. São Paulo: Novactec, 2017.
- [33] ZAMBONI, M. Proteus VSM. Faculdade de tecnologia do estado de São Paulo-FATEC São Paulo.2011Disponível em<[https://m.box.com/shared\\_item/https%3A%2F%2Fapp.box.com%2Fs%2Fdzgvdpp8jb4446lkjvckiufq21fu3sf](https://m.box.com/shared_item/https%3A%2F%2Fapp.box.com%2Fs%2Fdzgvdpp8jb4446lkjvckiufq21fu3sf)> Acesso em 07 dez 2022.
- [34] ROCHA, R. Projeto de Controlador de Temperatura para Mantas Termoelétricas. 2012. 129 f. TCC (Graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade São Francisco, Itatiba,São Paulo,2012. Disponível em:<<https://lyceumonline.usf.edu.br/salavirtual/documentos/2339.pdf>>. Acesso em 16 de jan 2023.
- [35] SOUZA,R.M.O. et. al. Monitoramento de Caixa d'Água com Realidade Aumentada e IOT. Revista Brasileira de Mecatrônica,v.4,n.2,p.56-67,out./dez.2021.São Paulo. Disponível em<<https://revistabrmecatronica.sp.senai.br/ojs/index.php/revistabrmecatronica/article/view/138/129>>. Acesso em 22 jan 2023.