

UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL – UCS
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DA REGIÃO DOS VINHEDOS – CARVI
ÁREA DO CONHECIMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E ENGENHARIA
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

JAIR PAINI JUNIOR

DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO PARA MONITORAMENTO DE
CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DE UM TÚNEL DE ENCOLHIMENTO

BENTO GONÇALVES

2021

JAIR PAINI JUNIOR

**DENSENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO PARA MONITORAMENTO DE
CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DE UM TÚNEL DE ENCOLHIMENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso II
apresentado no Campus Universitário da
Região dos Vinhedos, da Universidade de
Caxias do Sul, como requisito parcial para
obtenção do título de Engenheiro
Eletricista.

Orientador:

Prof. Me. Felipe Augusto Tondo

BENTO GONÇALVES

2021

JAIR PAINI JUNIOR

**DENSENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO PARA MONITORAMENTO DE
CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DE UM TÚNEL DE ENCOLHIMENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso II
apresentado no Campus Universitário da
Região dos Vinhedos, da Universidade de
Caxias do Sul, como requisito parcial para
obtenção do título de Engenheiro
Eletricista.

Orientador:
Prof. Me. Felipe Augusto Tondo

Aprovado em __/__/____

Banca Examinadora:

Prof. Me. Felipe Augusto Tondo
Universidade de Caxias do Sul – UCS

Prof. Me. Ricardo Leal Costi
Universidade de Caxias do Sul – UCS

Prof. Me. Rodrigo Tregnago
Universidade de Caxias do Sul – UCS

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades, e ter chegado até aqui.

Gratidão a minha esposa Daiana, por toda dedicação, paciência e contribuição para que esse sonho fosse possível.

Ao Prof. Me. Felipe Augusto Tondo, pelas orientações, auxílio e paciência em compartilhar sua experiência e conhecimento. Também, aos demais professores, pelo conhecimento que foi partilhado ao longo de toda a graduação, isso foi fundamental para a minha caminhada.

Agradeço a todos os colegas do Curso de Engenharia Elétrica, pela ajuda, empenho e cooperação que tiveram ao longo dessa trajetória.

Por fim, gratidão aos três grandes amigos que o curso me proporcionou, Clairton Patzlaff, Douglas Manica e Gerson Dalcin, por todo apoio, pela paciência e principalmente pela amizade.

“Cresça sem humilhar o outro. Sem pisar em ninguém. Não importa o quão bom você seja no que faz. Sempre existirá alguém melhor do que você. O conhecimento te abre portas, mas a humildade te levará mais longe.”

Chico Xavier

RESUMO

Os avanços tecnológicos tem crescido em âmbito mundial e isso não poderia ser diferente na área industrial. Logo, o conceito de Indústria 4.0 proporciona possíveis soluções que tornam todos os processos produtivos mais inteligentes. Desta forma, a manutenção preventiva pode minimizar as falhas, paradas de produção e o impacto no custo final. Neste trabalho foi implementado um protótipo de monitoramento das condições de operação do túnel de encolhimento, a fim de analisar as medidas no acionamento de resistências de aquecimento, tais como: tensão, corrente, potência e quantidade de acionamentos. Foi realizada a construção do protótipo equivalente ao túnel de encolhimento, sendo monitorar as grandezas de tensão, corrente e potência, durante um período de 126 horas aproximadamente. Além da plataforma de aquisição, também foi desenvolvida uma interface com o usuário e um banco de dados. Com relação aos resultados obtidos durante os 14 dias de monitoramento, os valores obtidos encontram-se dentro do esperado. Com os sinais coletados foi possível traçar os gráficos da tensão versus corrente obtidos pelo monitoramento do sistema, bem como averiguar o comportamento linear retirado do comportamento durante o período de monitoramento. O protótipo mostrou-se satisfatório dentro do contexto de IoT aplicado à indústria inteligente, especialmente na questão de manutenção preventiva do equipamento e monitoramento com banco de dados.

Palavras-chave: Monitoramento, manutenção, controle, interface gráfica, Túnel de encolhimento.

ABSTRACT

Technological advances have grown worldwide and this could not be different in the industrial area. Therefore, the Industry 4.0 concept provides possible solutions that make all production processes smarter. In this way, preventive maintenance can minimize failures, production stoppages and the impact on the final cost. In this work, a prototype for monitoring the operating conditions of the shrink tunnel was implemented, in order to analyze the measurements in the activation of heating resistances, such as: voltage, current, power and number of activations. The construction of the prototype equivalent to the shrinking tunnel was carried out, monitoring the magnitudes of voltage, current and power, during a period of approximately 126 hours. In addition to the acquisition platform, a user interface and a database were also developed. Regarding the results obtained during the 14 days of monitoring, the values obtained are within the expected range. With the collected signals, it was possible to plot the graphs of voltage versus current obtained by monitoring the system, as well as ascertaining the linear behavior removed from the behavior during the monitoring period. The prototype proved to be satisfactory within the context of IoT applied to smart industry, especially in the matter of preventive maintenance of equipment and monitoring with a database.

Keywords: Monitoring, maintenance, control, graphical interface, Shrink tunnel.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Revolução industrial.....	17
Figura 2: Visão técnica da IoT.....	20
Figura 3: Arquitetura em camadas de IoT.....	21
Figura 4: Armazenamento e computação na nuvem.....	22
Figura 5: Importância da automação industrial.....	23
Figura 6: Controlador Lógico Programável.....	25
Figura 7: Sistema de rede do modelo OSI.....	26
Figura 8: Diagrama de blocos, abrangência rede de comunicação.....	27
Figura 9: Exemplo de aplicação da arquitetura OPC UA.....	28
Figura 10: Circuito com divisor de tensão.....	29
Figura 11: Transformador rebaixador e isolador de tensão.....	30
Figura 12: Transformador de corrente.....	31
Figura 13: Formas corretas de ligação TCs.....	32
Figura 14: Localização das resistências no túnel de encolhimento.....	33
Figura 15: Diagrama de blocos a ser implementado separado por etapas.....	34
Figura 16: Projeto da estrutura do túnel de encolhimento.....	35
Figura 17: Projeto concluído do túnel de encolhimento.....	36
Figura 18: Condicionador do sinal de tensão discriminado.....	37
Figura 19: Aplicação do transformador de corrente no condutor da resistência.....	39
Figura 20: Condicionador do sinal de corrente discriminado.....	39
Figura 21: Pontos de referencia para simulação.....	41
Figura 22: Formas de ondas do condicionador de sinais.....	41
Figura 23: Protótipo da PCB do condicionador de sinais.....	42
Figura 24: Condicionador de sinais aplicado na PCB.....	42
Figura 25: Condicionadores de sinais de corrente e tensão para monitoramento do sistema trifásico.....	43
Figura 26: Esquemático elétrico envolvendo parte de potência e acionamento das resistências de aquecimentos através de um contator.....	44
Figura 27: Quadro de comando do protótipo.....	45
Figura 28: Especificação placa analógica e ligação no CLP.....	46
Figura 29: Bloco de controle do banco de dados.....	47
Figura 30: Protocolo SMTP.....	48
Figura 31: Configurações da estrutura de dados para envio de email.....	49
Figura 32: Mensagem de alarme enviada pelo CLP.....	50
Figura 33: <i>Software Unified Automation UaExpert</i> responsável em monitorar os dados na nuvem.....	51
Figura 34: Configuração do endereço do servidor do CLP.....	51
Figura 35: Dados do CLP sendo monitorados na nuvem através do <i>Unified Automation UaExpert</i>	52

Figura 36: Fluxograma do método de configuração da rede de comunicações entre os dispositivos.	53
Figura 37: Topologia de rede e configuração dos IPs determinados que envolve os dispositivos do protótipo.	54
Figura 38: Seleção das medidas das fases selecionadas.	55
Figura 39: Medidas de apresentadas pelo armazenamento do banco de dados.	56
Figura 40: Medidas apresentadas pela caracterização do condicionador de sinais de tensão.	59
Figura 41: Resposta da relação da tensão de entrada x tensão de saída.	60
Figura 42: Medidas apresentadas pela caracterização do condicionador de sinais de corrente.	62
Figura 43: Resposta da relação da corrente de entrada x tensão de saída.	63
Figura 44: Comportamento das medidas de tensão, corrente e potência extraídas das medições da fase R, semana dos dias 10 à 24 de maio de 2021.	65
Figura 45: Comportamento das medidas de tensão, corrente e potência extraídas das medições da fase S, semana dos dias 10 à 24 de maio de 2021.	66
Figura 46: Comportamento das medidas de tensão, corrente e potência extraídas das medições da fase T, semana dos dias 10 à 24 de maio de 2021.	67
Figura 47: Curva de Tensão x Corrente nas fases R, S e T, período de 10 à 24 de maio de 2021.	68
Figura 48: Curva característica termopar.	74
Figura 49: Multímetro modelo ET-2042.	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Comparativo do conceito de indústria 4.0.	18
Tabela 2: Especificações técnicas ET200 SP.	25
Tabela 3: Resultados de medições para caracterização do sistema, Multímetro x Condicionador de sinais de tensão.	58
Tabela 4: Leitura realizada pelo condicionador de sinal de tensão, entrada x saída.	60
Tabela 5: Resultados de medições para caracterização do sistema, Multímetro x Condicionador de sinais de corrente.	61
Tabela 6: Leitura realizada pelo condicionador de sinal de corrente, entrada x saída.	63
Tabela 7: Variação das medidas no decorrer do período de testes.	67
Tabela 8: Lista de materiais dos condicionadores de sinais de tensão e corrente....	75
Tabela 9: Medidas de tensão na fase R.	75
Tabela 10: Medidas de tensão na fase S.	76
Tabela 11: Medidas de tensão na fase T.	76
Tabela 12: Medidas de corrente na fase R.	77
Tabela 13: Medidas de corrente na fase S.	77
Tabela 14: Medidas de corrente na fase T.	78

LISTA DE SIGLAS

CLP	<i>controlador lógico programável</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
TC	<i>Transformador de corrente</i>
IHM	<i>Interface homem máquina</i>
TIA	<i>Totally Integrated Automation</i>
OPC UA	<i>Open Platform Communications Unified Architecture</i>
SMTP	<i>Simple Mail Transfer Protocol</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 OBJETIVO GERAL	15
1.1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
1.2 ESCOPO E RESTRIÇÕES	15
1.3 APRESENTAÇÃO DO TRABALHO	16
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1 INTERLIGAÇÃO INDÚSTRIA E TECNOLOGIA	17
2.1.1 Indústria 4.0	18
2.1.1.1 Internet das Coisas (IoT)	19
2.1.1.2 Análise de Dados e Computação na Nuvem	21
2.2 CONTROLE E VIZUALIZAÇÃO DE DADOS	23
2.2.1 Plataforma de aquisições de dados	24
2.2.1.1 Controlador lógico programável Modelo S7 1200C	24
2.2.1.2 Rede de comunicação de dados	26
2.3 CONDICIONADORES DE SINAIS PARA EXTRAÇÃO DE MEDIDAS	28
2.3.1 Medidas elétricas	28
2.3.1.1 Medição da tensão elétrica do dispositivo	29
2.3.1.2 Medição de corrente do túnel de encolhimento	31
2.4 TÚNEL DE ENCOLHIMENTO	32
3 METODOLOGIA DO TRABALHO	34
3.1 CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO	34
3.1.1 Projeto da construção do túnel de encolhimento	35
3.1.2 Condicionadores de sinais elétricos	36
3.1.2.1 Condicionadores de sinais de tensão elétrica	37
3.1.2.2 Condicionadores de sinais de corrente	38
3.1.3 Simulação e prototipagem do <i>hardware</i> do condicionador de sinais elétricos	40
3.1.4 Acionamento e interligação dos dispositivos	43
3.2 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL.....	45

3.2.1 Desenvolvimento do banco de dados	46
3.2.2 Avisos de falhas através de e-mail	48
3.2.3 Monitoramento e armazenamento dos dados na “nuvem”	50
3.3 IMPLEMENTAÇÃO DE TROCA DE DADOS ENTRE OS DISPOSITIVOS CLP E INTERFACE GRÁFICA	52
3.3.1 Desenvolvimento da interface gráfica	55
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	57
4.1 RESULTADOS DO CONDICIONADOR DE SINAIS DE TENSÃO	57
4.2 RESULTADOS DO CONDICIONADOR DE SINAIS DE CORRENTE	61
4.3 RESULTADOS DO MONITORAMENTO DAS CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DO PROTÓTIPO	64
5 CONCLUSÕES	70
REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO	71
ANEXO A	74
ANEXO B	75
ANEXO C	75
ANEXO D	77
ANEXO E	78

1 INTRODUÇÃO

Túnel de encolhimento é um equipamento utilizado nas indústrias, que tem por finalidade contrair a embalagem do produto com a utilização de um plástico especial. Deste modo, o produto deve manter o formato adequado assegurando sempre o mesmo padrão. O resultado simplifica o agrupamento, uma vez que a embalagem possui alta resistência a intervenções diversas, devido a funcionalidade que o equipamento proporciona aos produtos na movimentação e transporte. Sua fabricação é composta por uma estrutura metálica, um conjunto de esteira de movimentação do produto e seu aquecimento é feito através de resistências elétricas. (EUROMAX, 2019).

Costa (2013) afirma que no ramo industrial o departamento da manutenção é de fundamental importância, onde os equipamentos devem estar sempre em condições adequadas para se obter um funcionamento correto. Dessa forma, garantindo ganhos de produção, sem preocupação com possíveis paradas para consertos.

Segundo Zaions (2003), a indústria busca mais competitividade e maior produção. Com isso, visa a produção de seus segmentos de forma mecanizada, ocasionando a diminuição da mão de obra humana. Sendo assim, os equipamentos apresentam maiores velocidades, elevada potência, robustez, entre outras características, a fim de atingir uma melhor agilidade e fluxo de produção.

Sendo assim, através das novas tecnologias, a manutenção industrial obteve um aliado na solução de problemas. Através da tecnologia de Internet das Coisas (IoT), a manutenção industrial pode atuar na prevenção de falhas, monitoramento em tempo real do funcionamento de máquinas, assim como prever manutenções pontuais, as quais evitam retrabalhos ou paradas de linhas, por exemplo (ALMEIDA E FABRO, 2019). De acordo com Geissbauer et al (2014), as soluções das indústrias 4.0 proporcionam o aumento da eficiência e diminuição dos custos. As indústrias devem envolver os setores de engenharia de automação e mecânica com linhas de produção para realizarem os processos de digitalização.

Diante do contexto apresentado, esse trabalho propõe o desenvolvimento de um protótipo para monitorar as condições de operação de um túnel de

encolhimento. Através dessas informações será possível analisar e prever as situações de desgaste e manutenção preventiva.

1.1 OBJETIVO GERAL

Implementação de um protótipo para monitorar as condições de operação de um túnel de encolhimento, utilizando resistências para aquecimento e comunicação com banco de dados.

1.1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para cumprir o objetivo geral do trabalho, são listados abaixo alguns objetivos específicos.

- Realizar uma pesquisa sobre trabalhos relacionados na área de novas tecnologias/ferramentas ao ramo industrial;
- Construção de um protótipo do modelo equivalente ao túnel de encolhimento;
- Desenvolvimento dos módulos dos condicionadores de sinais elétricos;
- Implementar a comunicação do sistema como um todo;
- Desenvolvimento de uma banco de dados para armazenamento das informações, e interface gráfica para que o usuário possa visualizar as informações coletadas;
- Realização de testes e análise dos resultados.

1.2 ESCOPO E RESTRIÇÕES

As seguintes restrições são aplicadas ao presente trabalho, com a finalidade de restringir-se aos objetivos já discutidos:

- a) O protótipo restringirá o monitoramento de condições de operações de operação de um túnel de encolhimento.

- b) Os ensaios práticos são realizados nos laboratórios da universidade com a intenção de futuramente aplicar na Indústria.

1.3 APRESENTAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho é composto por cinco capítulos, sendo o primeiro a introdução ao tema.

O segundo capítulo consiste em uma revisão bibliográfica necessária para a compreensão da proposta desse trabalho, onde serão abordadas as condições adequadas para a confecção desse protótipo.

O terceiro capítulo apresenta uma abordagem quanto a metodologia do desenvolvimento de um protótipo para monitoramento de condições de operação de um túnel de encolhimento.

Já no capítulo 4, são apresentados os resultados obtidos após a aquisição e análise dos dados.

O trabalho finaliza com o capítulo 5, onde são apresentadas as conclusões baseada nos resultados obtidos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Com intuito de fundamentar a metodologia a ser utilizada no decorrer deste estudo, a seguir serão abordados conceitos necessários para o desenvolvimento do trabalho.

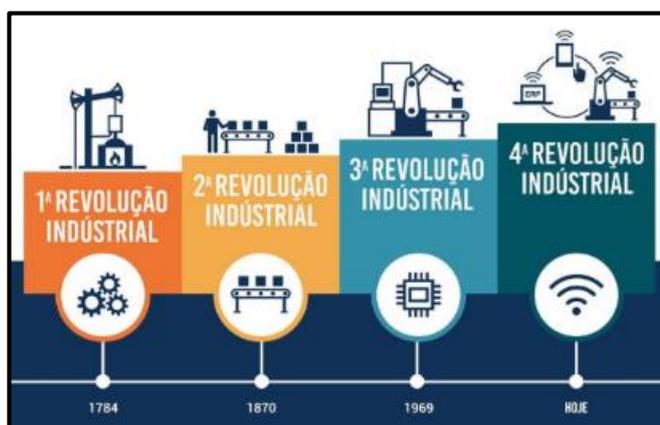
2.1 INTERLIGAÇÃO INDÚSTRIA E TECNOLOGIA

A primeira revolução industrial surgiu entre os anos de 1760 a 1840 na Inglaterra, os processos artesanais ficaram em segundo plano, onde foi substituída a maneira de construir as máquinas a vapor. (DRUCKER, 2000). Com o aprendizado da primeira revolução, entre os anos de 1870 até 1914 ocorreu a segunda revolução industrial, onde agregou-se evoluções nas áreas de química, engenharia transportes, entre outras. (MOKYR ,1988).

Para Coelho (2016), no período de 1970 aconteceu a terceira revolução industrial, também conhecida como revolução digital, onde se espalhou a utilização de computadores e automação em linhas de produção. Com o aprimoramento dessa revolução, em 2011 na Alemanha foi criada a quarta revolução industrial. Essa evolução consiste em características como inovação, integração e troca de dados. (RÜBMANN et al. 2015).

A Figura 1 apresenta de forma sucinta uma linha do tempo, onde exhibe a história das revoluções industriais

Figura 1: Revolução industrial.



Fonte: Senai (2019).

2.1.1 Indústria 4.0

A indústria 4.0 abrange as principais inovações tecnológicas no âmbito de automação, voltadas aos processos produtivos. A base dessa indústria é constituída pela conexão de máquinas e sistemas, a fim de criar redes inteligentes que auxiliarão no controle produtivo.

A Tabela 1 mostra de forma reduzida os comparativos de pontos positivos e negativos da indústria 4.0.

Tabela 1: Comparativo do conceito de indústria 4.0.

Pontos positivos	Pontos Negativos
Avanço em pesquisas	Aumento da dependência tecnológica
Qualificação de produtos e serviços	Substituição de empregos
Criação de novos segmentos	Legislação e penalidade
Agilidade e rapidez em processos	Risco de colapso caso ocorrer (<i>Blackout</i>)
Aumento e eficiência da produtividade	Aumento de manipulação sistemática
Competitividade nacional e global	Mudança de modelos de negócios
Acessibilidade	Segurança de dados
Crescimento econômico mundial	Desigualdade

Fonte: Adaptado *Wishbox Technologies*. (2020).

Rübmann et al. (2015) define que a quarta revolução industrial promove a união com recursos digitais e físicos. Também afirma que é formada por nove pilares que conectam as máquinas, tais como: análise de dados; robótica; simulação; integração de sistemas; internet das coisas; segurança cibernética; computação na nuvem e inteligência artificial.

Esse trabalho promove a exploração de três pilares dentro do contexto de indústria 4.0, sendo: IoT, análise de dados, integração de sistemas e computação na nuvem.

2.1.1.1 Internet das Coisas (IoT)

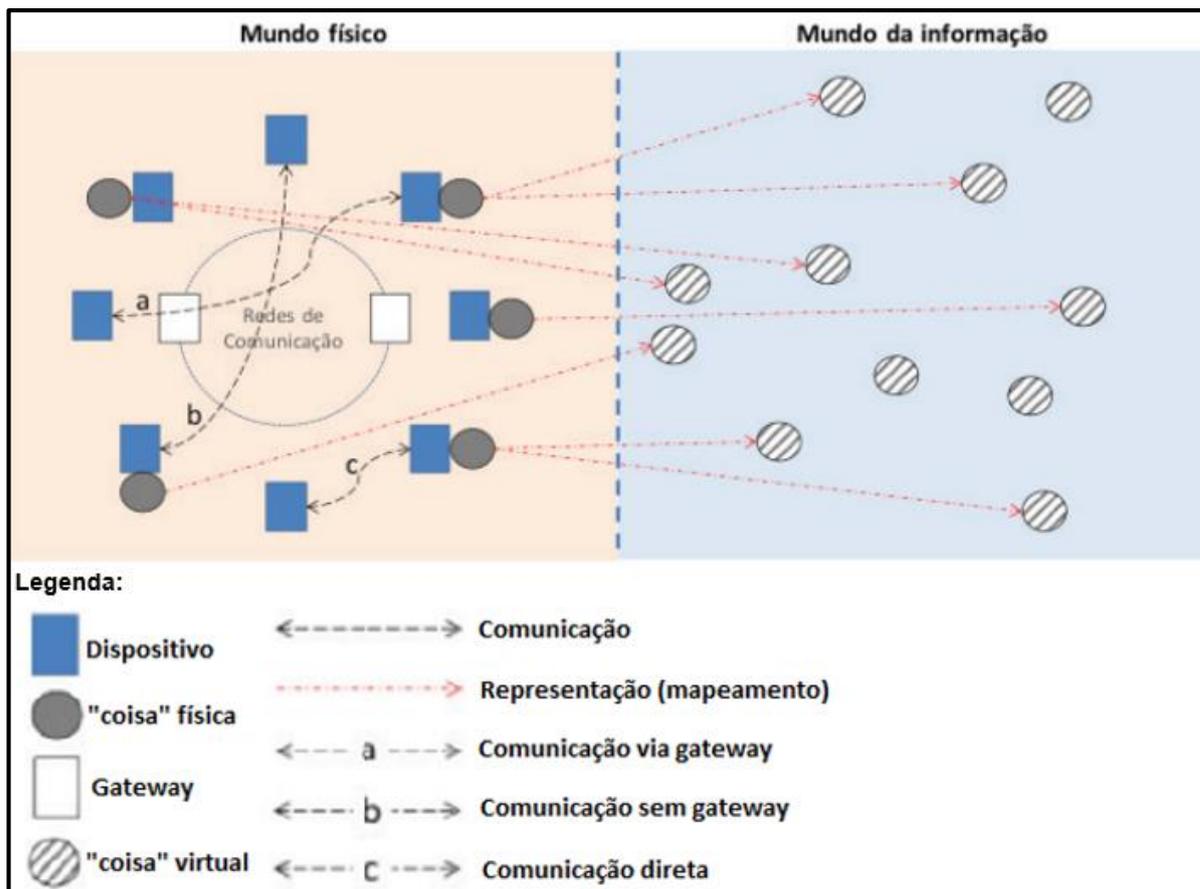
Segundo Zuin e Zuin (2016), a Internet das Coisas é uma forma de comunicação entre máquinas e homens, através de algum dispositivo de interface. Já Zambrano (2016) afirma que as informações coletadas do meio físico podem ser visualizadas em tempo real, pois devido ao avanço da tecnologia é possível acessá-las através de *smarphones* em qualquer lugar e momento.

A Internet das Coisas pode ser vista como um mundo físico, tendo em paralelo um mundo digital.

A Figura 2 apresenta alguns dispositivos que fazem parte da tecnologia IoT. Os retângulos azuis representam os dispositivos físicos, na prática pode-se citar dispositivos como computadores, controladores, entre outros do mesmo gênero.

As informações são transpassadas para o mundo da informação, tornando-se possível, mapear comportamentos através de dados, monitorar em tempo real a eficiência do equipamento e históricos em bancos de dados, analisar a qualidade dos equipamentos, através disso pode-se visualizar a qualidade do produto final. (RECOMMENDATION ITU-T Y.2060, 2012).

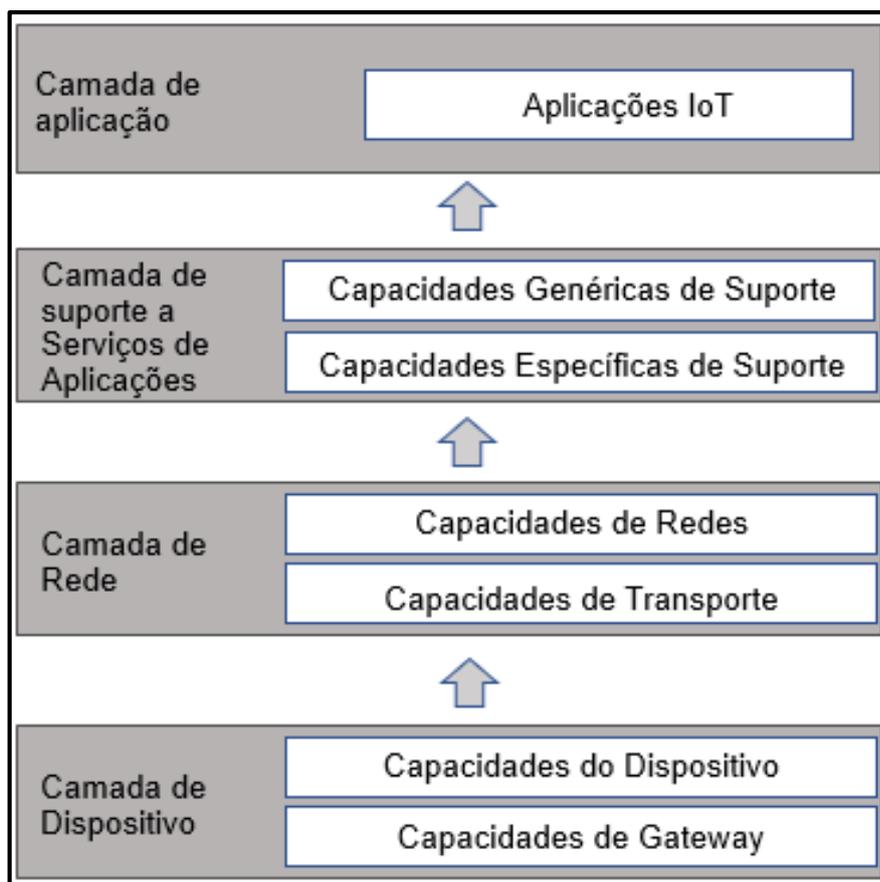
Figura 2: Visão técnica da IoT.



Fonte: Adaptado de Recommendation ITU-T Y.2060 (2012).

Segundo ITU (2012) a arquitetura da IoT é composta de quatro camadas. São elas: Camada de Aplicação; Camada de Suporte a Serviços; Camada de Rede e Camada de Dispositivos, conforme a Figura 3.

Figura 3: Arquitetura em camadas de IoT.



Fonte: Adaptado de Recommendation ITU-T Y.2060 (2012).

Essas camadas tem como função, a transferência de dados dos dispositivos para a aplicações e para outros dispositivos, também trazer instruções de maneira confiável das aplicações para os dispositivos. Sendo assim, as aplicações que usam “dispositivos”, podem receber e enviar ordens, fazendo a integração por meio de rede de comunicação.

2.1.1.2 Análise de Dados e Computação na Nuvem

Segundo Coelho (2016), os dados são considerados como palavras, números ou outros sinais que resultam objetivas realidades. Esses dados podem ser validados e verificados, dando origem a informação.

Geissbauer (2016) afirma que os dados podem ser analisados de forma *online*, com plataformas avançadas, podendo oferecer altas velocidades de

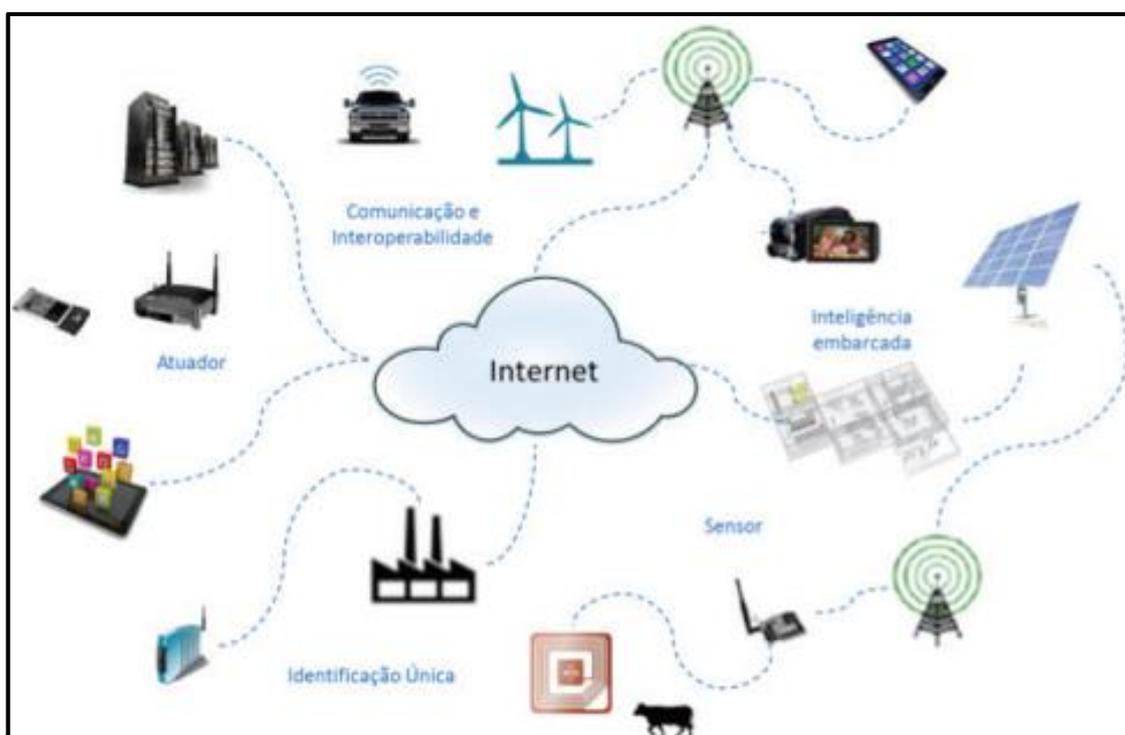
transmissão, facilitar o trabalho na nuvem. Os resultados dos dados coletados, podem fornecer informações para aumentar a eficiência e produtividade dos equipamentos.

O termo computação na nuvem, teve início em 2006 pela Google. Com o avanço da tecnologia, atualmente esse recurso tem importância, pois apresenta movimentação de dados, sendo assim, facilita os acessos das informações em qualquer lugar do mundo. (TAURION, 2009).

A computação na nuvem está destacando-se no ramo das indústrias pelo fácil acesso de informações, garantindo a diminuição de custos relacionados a diversos setores. NIST (2018).

A Figura 4 mostra, como o armazenamento de dados e a computação na nuvem, abrangem a maior parte das tecnologias presentes no cotidiano das pessoas. A vantagem desse recurso, propõem minimizar perdas de informações, com a possibilidade de salvá-las e acessá-las.

Figura 4: Armazenamento e computação na nuvem.



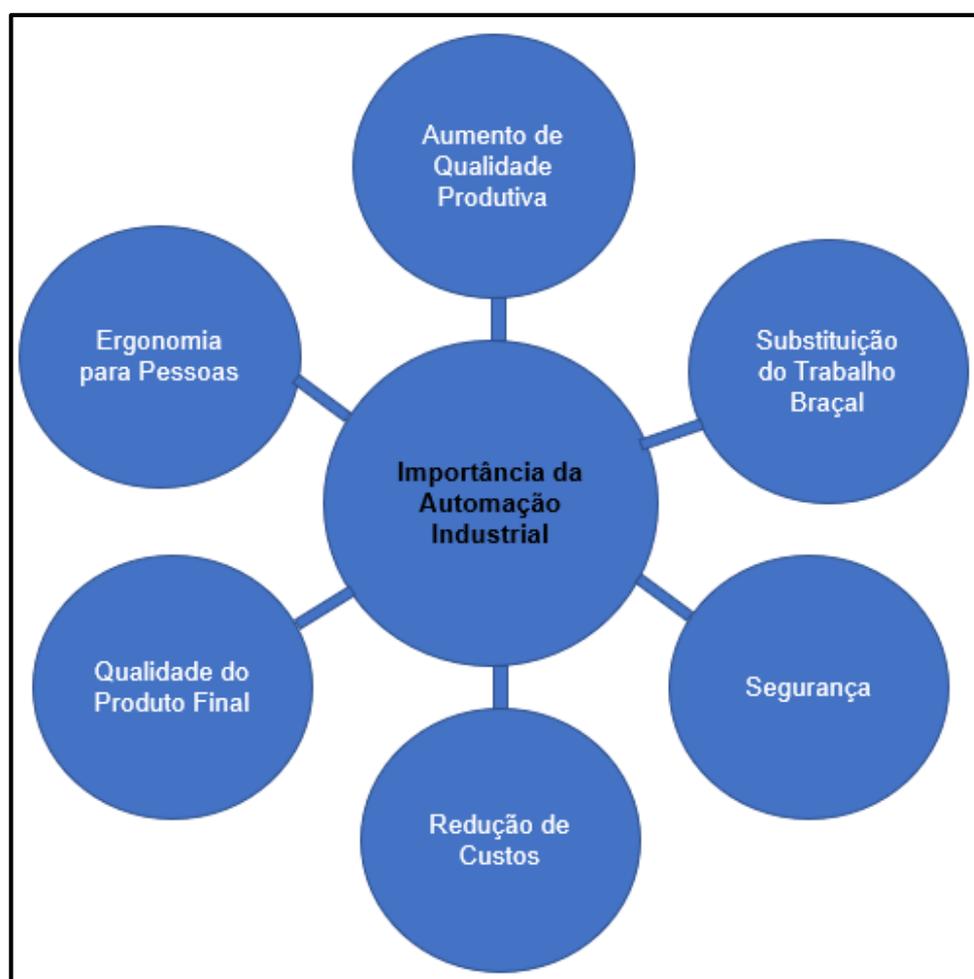
Fonte: Filho (2016).

2.2 CONTROLE E VIZUALIZAÇÃO DE DADOS

Martins (2012) afirma que a automação está exercendo cada vez mais influência no cotidiano das pessoas.

A Figura 5 apresenta, a importância da automação no ramo industrial, abrangendo diversos aspectos que estão relacionados.

Figura 5: Importância da automação industrial.



Fonte: O autor (2020).

A automação industrial abrange inúmeros aspectos positivos, que promovem vantagens assertivas. Como o aumento da produtividade, a redução do desperdício de matéria prima, a prevenção e minimização de acidentes de trabalho, dessa forma, assegurando a qualidade do produto final. (MARTINS,2012).

2.2.1 Plataforma de aquisições de dados

Pretende-se realizar o monitoramento das condições de operação na resistência do túnel de encolhimento, através de um controlador lógico programável (CLP). Foi escolhido esse dispositivo, devido a utilização na área industrial, pois é um equipamento que possui recursos e características especiais para o ambiente que será implementado, como múltiplas portas da rede de acesso ao meio, monitoramento em tempo real, facilidade de acesso remoto, blocos de controle validados para rápidas lógicas, entre outros. A seguir, serão apresentadas funções pertinentes à plataforma, onde serão usadas para aquisição das informações de medidas de tensão, corrente e funcionamento.

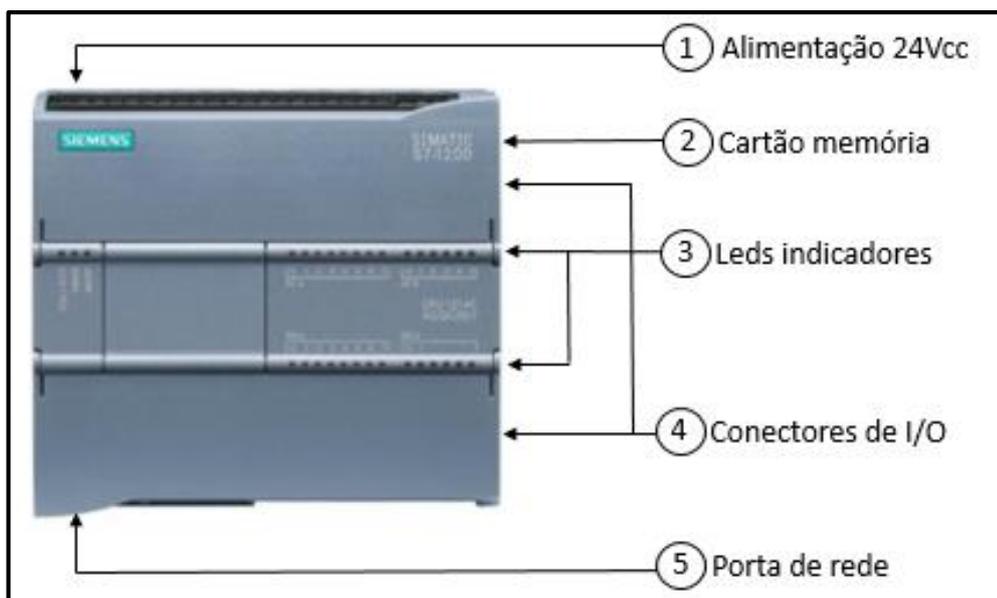
2.2.1.1 Controlador lógico programável Modelo S7 1200C

Esse dispositivo dispõe de uma memória interna para armazenamento do programa a ser executado, também diminui o número de condutores, pois os acionamentos podem ser feitos por meio da rede de comunicação. O dispositivo ainda disponibiliza entradas digitais e analógicas para serem executadas leituras, como por exemplo, sensores, *encoders*, transdutores, entre outros. Por meio de suas saídas digitais e analógicas podem ser realizados acionamentos como contactores, relés, inversores de frequência, etc.

Uma de suas qualidades, é o trabalho em rede de comunicação, para isso existem protocolos para exercerem as leituras de suas entradas e saídas de rede. O dispositivo também é responsável por realizar todo o gerenciamento da comunicação, em algumas aplicações também serve para realizar a lógica de segurança de uma máquina por exemplo, e pode atender altas categorias de segurança com certificação. (MARTINS,2012).

A Figura 6 apresenta o modelo de Controlador Lógico programável que será utilizado para o controle dos dados na aplicação.

Figura 6: Controlador Lógico Programável.



Fonte: Adaptado de Siemens AG (2015).

A Tabela 2 fornece algumas das principais especificações técnicas do Controlador ET200SP.

Tabela 2: Especificações técnicas ET200 SP.

Tensão	24V
Memória de Trabalho	75 KB por programa
Cartão Memória	32 GB
Bits Memoria	16 KB
Tempo Execução Rotina	0.072 μ s
IO's	Entradas e saídas analógicas e digitais
PROFINET	Habilitado
OPC UA	Habilitado

Fonte: Adaptado Siemens AG (2015).

2.2.1.2 Rede de comunicação de dados

Para Oliveira (2016) as redes industriais podem favorecer os operadores de máquinas, proporcionando a troca de dados entre os dispositivos, controlando a visualização da produção atual, ou até mesmo, auxiliando no controle de um alarme pendente, evitando um possível problema. As redes possibilitam a interligação de diversos dispositivos de campos, (também conhecidos como remotas, cabeças de rede ou *point I/O*), esse dispositivo é semelhante a um CLP, nele podem ser conectados cartões de entradas e saídas digitais, analógicas e de segurança. No entanto, esses dispositivos de campos atuam como escravos, podem ser interligados a uma longa distância do CLP.

Para que as redes industriais funcionem corretamente e de forma segura, recomenda-se que seja seguido o modelo de camadas OSI, do inglês *Open System Interconnection*. Conforme a Figura 7, o modelo é dividido em 7 camadas, e permite a padronização dos protocolos, diante disso a maioria dos fornecedores terão equipamentos compatíveis.

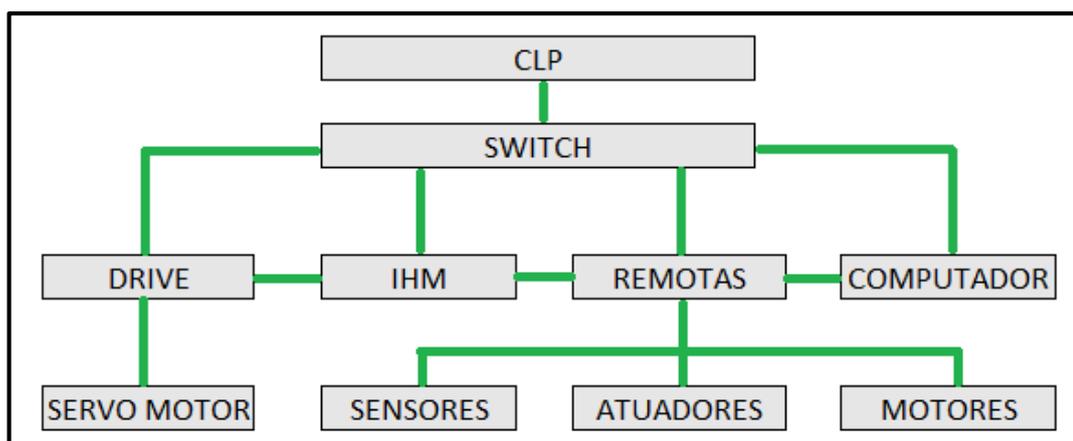
Figura 7: Sistema de rede do modelo OSI.



Fonte: Forouzan (2010).

O diagrama de blocos da Figura 8, apresenta uma aplicação de rede de comunicação industrial, onde pode-se perceber a abrangência nos componentes, e a economia de condutores, onde os mesmos serviriam para ligar os dispositivos de forma física. As linhas verdes representam apenas um cabo de rede, já os retângulos são os dispositivos eletrônicos e elétricos.

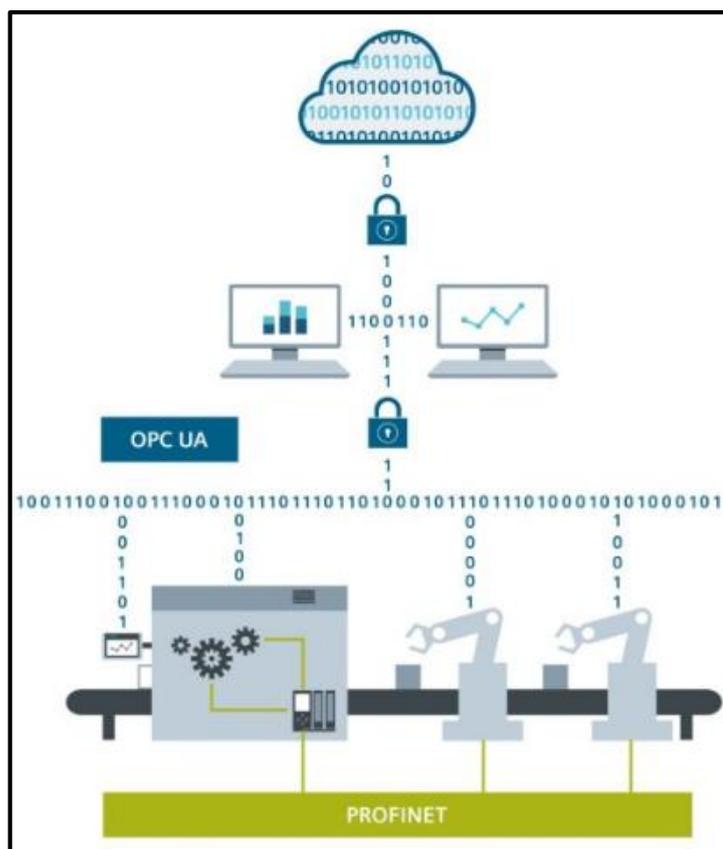
Figura 8: Diagrama de blocos, abrangência rede de comunicação .



Fonte: O autor (2020).

A aplicação do protocolo de comunicação com cliente / servidor é muito utilizado na automação. Essa forma de comunicação permite a troca de informações criptografados de forma confiável, por meio da largura de banda reduzida e evitando a perda de dados, esse tipo de comunicação é baseada em TCP/IP. Seus benefícios são: Rede baseada em *Ethernet*, alto desempenho pois a comunicação é rápida, não é preciso utilizar um hardware adicional, sendo que está em habilitado no *firmware* do CLP. (SIEMENS, 2020). A Figura 9, mostra um exemplo de aplicação da arquitetura do protocolo OPC UA.

Figura 9: Exemplo de aplicação da arquitetura OPC UA.



Fonte: Siemens AG (2021).

2.3 CONDICIONADORES DE SINAIS PARA EXTRAÇÃO DE MEDIDAS

Para a implementação desse protótipo, será necessário a utilização de alguns condicionadores para a extração de medidas elétricas. Na sequência são abordados os conceitos necessários para a medição de tensão e corrente das resistências elétricas do Túnel de Encolhimento.

2.3.1 Medidas elétricas

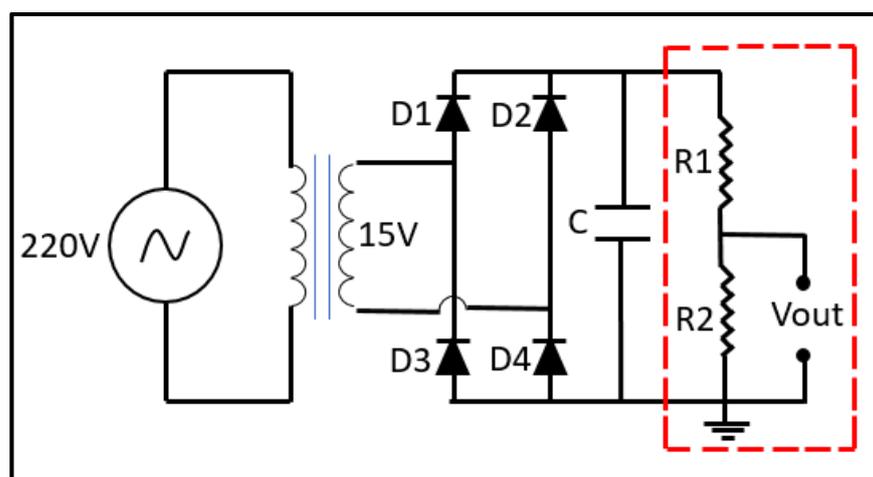
Será utilizado um transformador na entrada do circuito, com o intuito de isolar a parte dos condicionamentos de sinais, também terá a função de rebaixar os níveis de tensão, para que os resistores do divisor não drenem tanta corrente e nem dissipem tanta potência. Para que seja possível verificar a presença de corrente passando pelos

condutores da resistência elétrica do túnel de encolhimento, será utilizado um transformador de corrente (TC).

2.3.1.1 Medição da tensão elétrica do dispositivo

Segundo Reis (2014), o circuito divisor de tensão tem a finalidade de diminuir a tensão de saída do sistema, mantendo a proporcionalidade da tensão de entrada. Essa medição ocorre através da queda de tensão sobre um resistor. Esse resistor desvia o caminho da corrente elétrica, gerando uma tensão de referência, conforme o trecho destacado da Figura 10. Para melhorar a eficiência do circuito, é preciso que este resistor possua um valor bem elevado, assim drenará a menor quantidade de corrente do circuito a ser medido.

Figura 10: Circuito com divisor de tensão



Fonte: O autor (2020).

Alexander e Sadiku (2013), a relação entre tensão elétrica de saída em função de uma determinada entrada, num divisor de tensão como é dada pela Equação (1).

$$V_{out} = V_{in} \frac{R2}{R1 + R2} \quad (1)$$

Onde:

V_{out} : Tensão de saída [V];

V_{in} : Tensão de entrada [V];

R_2 : Resistor denominado [Ω];

$R_1 + R_2$: Resistores do divisor de tensão [Ω].

Os divisores de tensão fragmentam a tensão de saída, em outras palavras, podem ser utilizados para rebaixar a tensão de entrada. Os transformadores além de possuírem funções parecidas aos divisores de tensão, podem ser elevadores e isoladores de tensão. No presente trabalho o transformador será utilizado para rebaixar a tensão de entrada e trabalhar como isolador conforme a Figura 9 apresenta.

Também podem ser considerados equipamentos isoladores, são construídos por dois enrolamentos e um núcleo, sendo que no enrolamento primário pode ter tensões diferentes ao enrolamento secundário, essa relação é feita através de espiras dos enrolamentos. (CHAPMAN, 2013). A Figura 11 apresenta o modelo de transformador isolador e rebaixador de tensão.

Figura 11: Transformador rebaixador e isolador de tensão.



Fonte: Pólux Transformadores (2020).

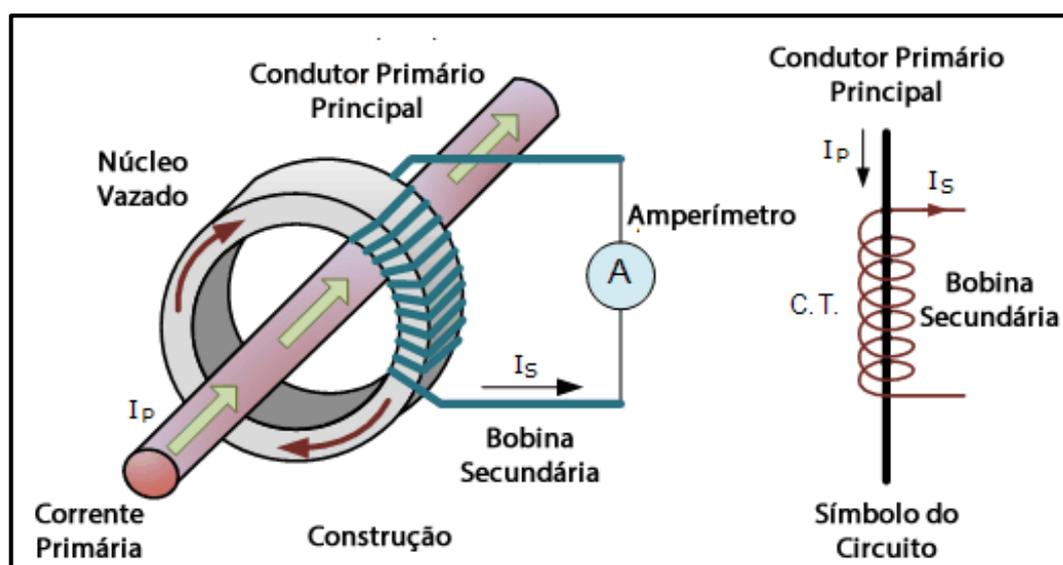
2.3.1.2 Medição de corrente do túnel de encolhimento

Segundo Filho (2019), os transformadores de corrente são instrumentos de medição, utilizados para suprir aparelhos que tem baixa resistência elétrica, tais como amperímetros, medidores de potência, entre outros.

Os transformadores são operados através de corrente alternada, constituem-se em dois enrolamentos de fios, primário e secundário, envolvidos em um núcleo metálico. A passagem de uma corrente elétrica alternada no enrolamento primário, induz à formação de uma corrente elétrica alternada no enrolamento secundário. A proporção entre as correntes primária e secundária, depende da relação entre o número de voltas em cada um dos enrolamentos.

Os transformadores de corrente do modelo toroidal, são conhecidos e utilizados para monitoramento de corrente em máquinas. Alguns modelos podem ter o núcleo dividido, permitindo instalações e manutenções seguras e rápidas. Esse modelo de TC não utiliza um enrolamento primário, sendo que opera a própria corrente que flui pelo condutor que energiza a carga. (CITISYSTEMS, 2012). A Figura 12, mostra o modelo esquemático do funcionamento de um transformador de corrente toroidal.

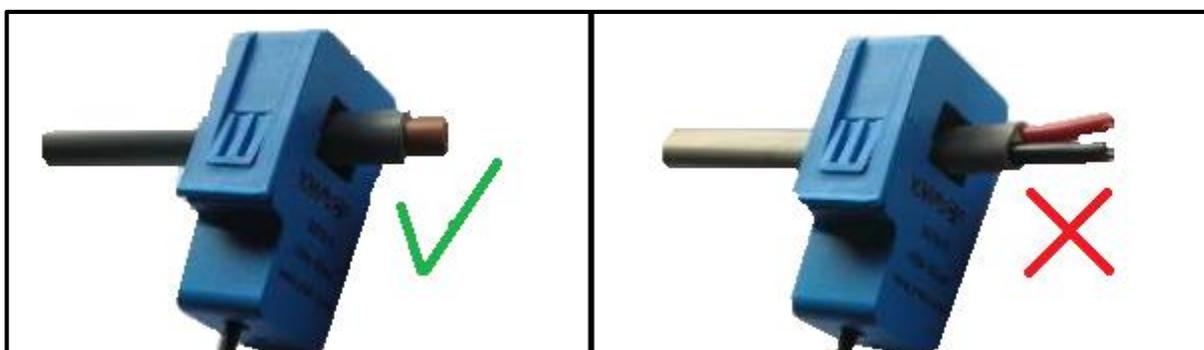
Figura 12: Transformador de corrente.



Fonte: Citisystems (2012).

Para realização da leitura de corrente de forma adequada, é necessário que somente o condutor com mesmo potencial elétrico passe através do núcleo do transformador de corrente. Esse condutor funciona como se fosse o enrolamento primário do transformador, dessa forma, irá gerar no secundário. Para fazer a transformação desse sinal de corrente em sinal analógico de tensão, é necessário um circuito auxiliar na saída do TC, composto de um resistor e capacitores, para que seja eficiente, sendo assim, o controlador pode ler de forma correta. A Figura 13 mostra a forma correta para não ocasionar erro de leitura do TC. (VIDALEN, 2017).

Figura 13: Formas corretas de ligação TCs.

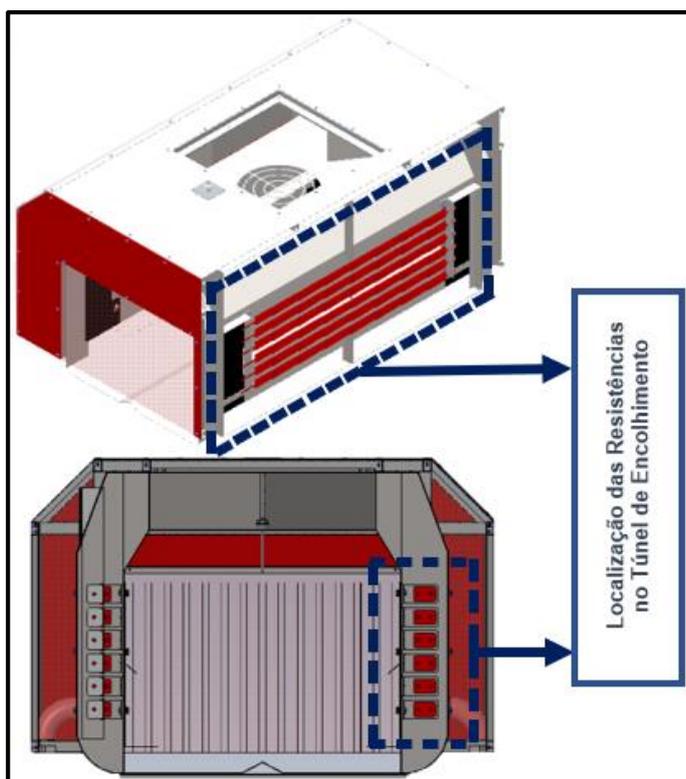


Fonte: Adaptado de Eletrogate (2017).

2.4 TÚNEL DE ENCOLHIMENTO

O túnel de encolhimento possui internamente resistências de aquecimento, onde as quais são responsáveis pelo aquecimento do material. A partir da localização dessas resistências, na estrutura mecânica do túnel de encolhimento, será definido o local ideal para a aquisição das medidas de tensão e corrente. (EUROMAX, 2019). A Figura 14, apresenta a localização das resistências de aquecimento do túnel de encolhimento, utilizando uma vista frontal e isométrica.

Figura 14: Localização das resistências no túnel de encolhimento.



Fonte: O autor (2020).

O controle do acionamento das resistências apresentadas na Figura 14, pode ser feito de algumas formas, a mais utilizada é através de um modelo de sensor tipo J, modelo termopar, pode ser visto a curva característica do sensor no Anexo A. Outra forma de fazer esse controle é por meio de temporizadores, onde pode ser configurado o tempo para ligar e desligar a resistência. (DUFF e TOWEY, 2010).

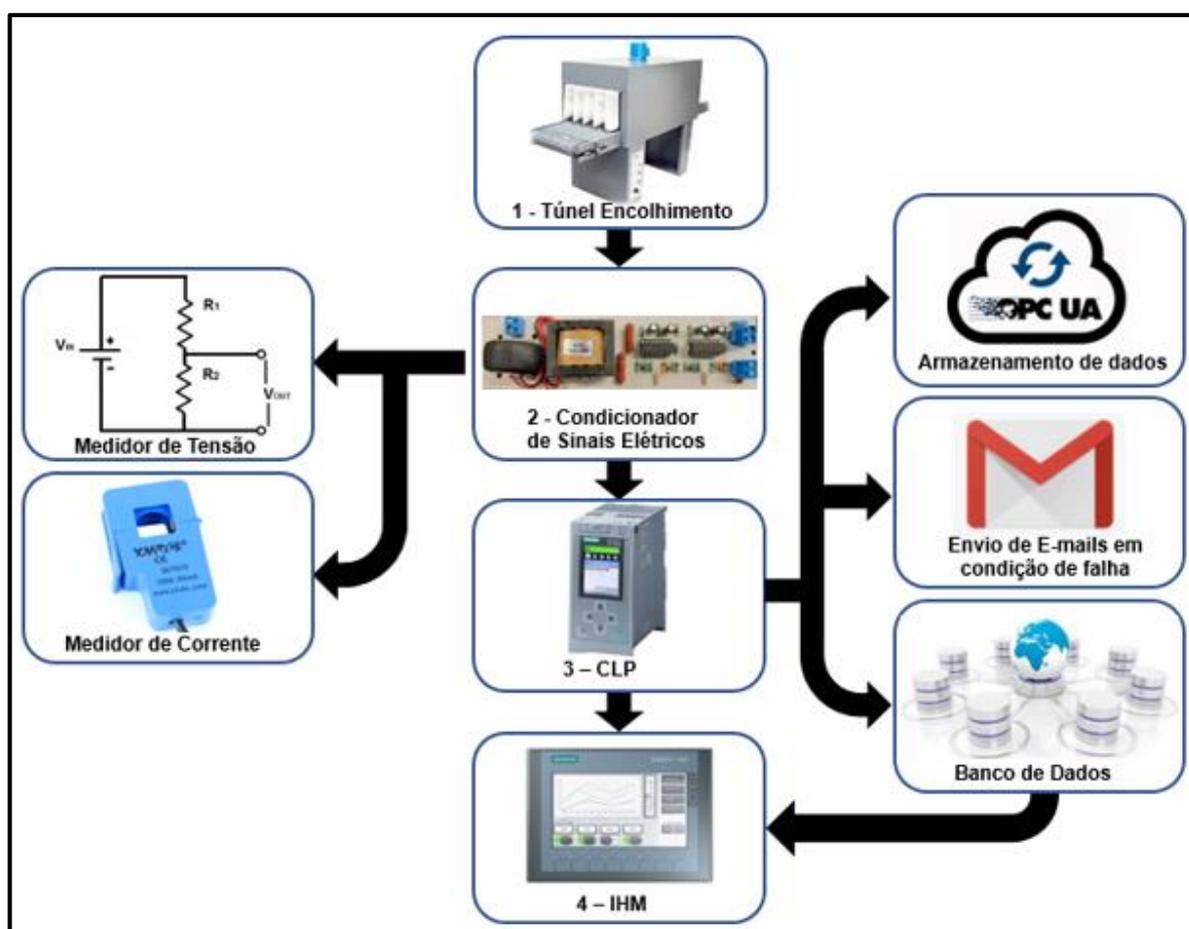
Por meio de configurações de parâmetros de *set-point* mínimo e máximo, do controlador de temperatura, é possível ligar ou desligar as resistências, a fim de, habilitar o aquecimento da resistência, verifica-se a temperatura atual que o sensor fornece, com o *set-point* mínimo programado. Já, para desabilitar esse aquecimento, o controlador utiliza a mesma comparação através do *set-point* máximo.

O acionamento do aquecimento das resistências pode ser feito através de algum dispositivo que contenha contatos secos, são exemplos de relés ou contadores, que consistem em bobinas magnéticas. Dessa forma, quando o controlador der a condição para habilitar ou desabilitar o aquecimento, as bobinas desses dispositivos são magnetizadas, permitindo a passagem de tensão e corrente até a carga. (MEGASERVICE, 2021).

3 METODOLOGIA DO TRABALHO

A metodologia do trabalho propõe o desenvolvimento de um protótipo para monitorar as condições de operação de um túnel de encolhimento, fazendo o uso de resistências de aquecimento. A Figura 15 apresenta um diagrama de blocos da implementação desse protótipo, separado por cinco etapas.

Figura 15: Diagrama de blocos a ser implementado separado por etapas.



Fonte: O autor (2021).

3.1 CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO

Nesse capítulo são abordadas as etapas que constituem a implementação do trabalho. A primeira etapa consiste na construção estrutural do protótipo do túnel de encolhimento. Essa estrutura será utilizada nos testes e nas coletas dos sinais de monitoramento das condições de operação. A segunda etapa é o desenvolvimento do

hardware do condicionador de sinais elétricos onde será responsável em obter as medidas de tensão e corrente elétrica através de sinais analógica.

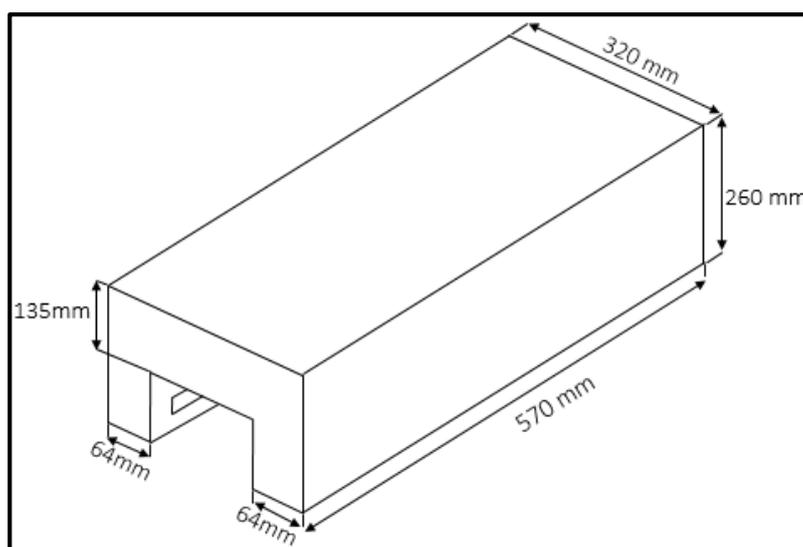
Para registrar os sinais adquiridos pelos condicionadores, na terceira etapa foi necessário desenvolver lógicas de programação no CLP para o tratamento dos sinais. Com o protocolo OPC UA, esses dados serão enviados para a “nuvem”. Com o objetivo de melhorar o monitoramento de possíveis falhas do protótipo, será utilizado o recurso de envios de e-mail através do protocolo SMTP que está embutido nas configurações do CLP.

Por último, para facilitar a visualização e monitoramento dos dados, foi necessário criar uma interface gráfica, a qual possibilita que o usuário possa realizar configurações importantes no protótipo.

3.1.1 Projeto da construção do túnel de encolhimento

Para iniciar a construção da estrutura do túnel de encolhimento, foi necessário elaborar um esboço do projeto de desenho técnico. A Figura 16 mostra o desenho da estrutura do modelo equivalente ao túnel de encolhimento com a utilização do *software* AutoCad, foram apresentadas todas as medidas necessárias, afim de obter a construção do projeto de forma física.

Figura 16: Projeto da estrutura do túnel de encolhimento.



Fonte: O Autor (2021).

O calor é essencial para o funcionamento adequado do túnel de encolhimento sendo assim, os materiais de sua construção devem ser selecionados adequadamente de maneira a resistir em altas temperaturas.

A Figura 17(a) apresenta a estrutura do túnel de encolhimento. Nela foram aplicada chapas de aço inox (resistentes ao calor e de fácil manuseio), silicone e tinta de alta temperatura, essa última com intuito de realizar vedações no equipamento.

O aquecimento desse túnel foi realizado por meio de resistências de aquecimento. Na Figura 17(b) apresenta o protótipo do túnel de encolhimento com a localização das resistências, onde serão aquecidas conforme as fases de ligação.

Figura 17: Projeto concluído do túnel de encolhimento.



Fonte: O Autor (2021).

3.1.2 Condicionadores de sinais elétricos

Esse tópico abordará o desenvolvimento do *hardware* do condicionador de sinais de tensão e corrente, que é responsável por monitorar o estado de operação em que se encontram as resistências do túnel de encolhimento.

As medidas de tensão e corrente elétrica serão retiradas dos condutores que participam da alimentação das resistências. Esse ponto foi escolhido devido a fluência de carga em movimento que passa através do condutor quando é magnetizada a bobina do relé ou contator.

Foi utilizado o componente amplificador operacional LM 324, que é responsável em retificar o sinal elétrico, mantendo-o contínuo. Escolheu-se esse

componente pois a sua configuração de alimentação é de *single supply*, ou seja 0 e +24V(CC), diferente de alguns modelos de amplificadores operacionais, onde é necessário o uso de uma fonte simétrica para a alimentação, tendo em vista que a maior parte dos equipamentos utilizados em ambientes industriais não possuem alimentação simétrica.

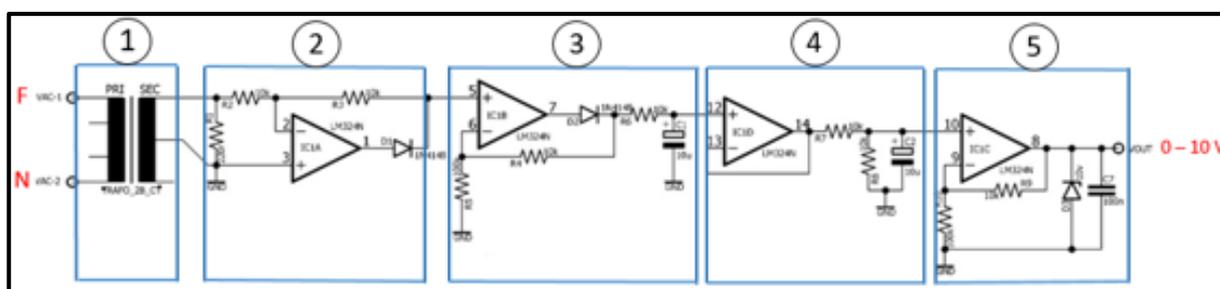
3.1.2.1 Condicionadores de sinais de tensão elétrica

A tensão de alimentação nominal da resistência de aquecimento é de 220V RMS. Foi utilizado um transformador com objetivo de isolar a parte responsável pelo condicionamento do sinal. Esse dispositivo terá a função e rebaixar a tensão de entrada para níveis menores de operação, protegendo contra riscos de choques elétricos.

Com o auxílio do *software Eagle* foi possível desenvolver o circuito do condicionador de sinais, bem como dimensionar os componentes que o compõem e simular os sinais.

A forma da onda de tensão do secundário no transformador é a mesma que a de entrada, ou seja, de forma alternada. Tornar-se-á necessário efetuar a retificação dessa onda, deixando-a de forma contínua. Para isso, utilizou-se os componentes eletrônicos, para auxiliar na retificação. A Figura 18 apresenta as características dos componentes eletrônicos, que fazem parte do condicionador de sinais que será utilizado para a leitura de tensão.

Figura 18: Condicionador do sinal de tensão discriminado.



Fonte: O autor (2021).

Este circuito da Figura 18 foi dividido em 5 etapas para fins de melhor explicação do sistema.

1 - Transformador de tensão 220/15V (AC), esse tem o objetivo de isolar o circuito de controle;

2 - Ganho inversor com estágio de meia onda;

3 - Ganho não inversor com retificador meia onda, este estágio consiste em um filtro passa baixa;

4 - Buffer não inversor, tem o objetivo de fazer um divisor de tensão, nele também consiste um filtro passa baixa;

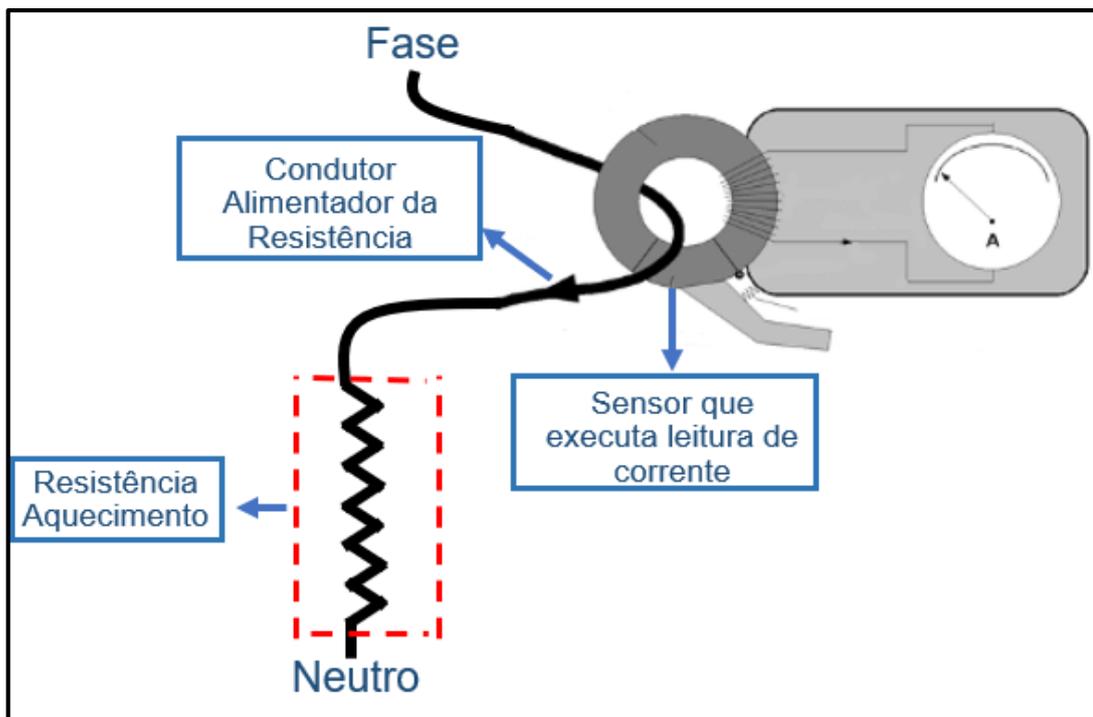
5 - Ganho não inversor, consiste na utilização de um diodo Zenner que terá como principal função limitar a tensão em 10V (CC).

3.1.2.2 Condicionadores de sinais de corrente

A medida da corrente elétrica foi realizada com o auxílio de um transformador de corrente, TC. Quando ocorrer o acionamento da resistência de aquecimento, uma corrente fluirá no condutor, desse modo o transformador de corrente que envolve o condutor possibilita as leituras das medidas de corrente.

A Figura 19 exhibe o circuito da execução do transformador de corrente na aplicação.

Figura 19: Aplicação do transformador de corrente no condutor da resistência.

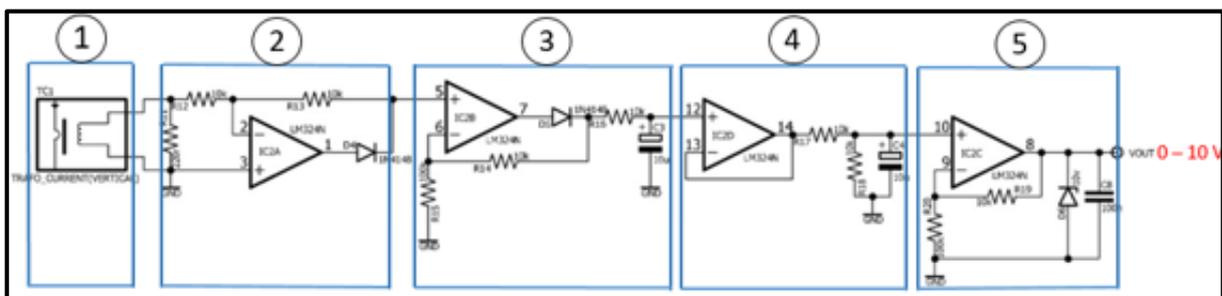


Fonte: Adaptado de Wikiwand (2019).

Para monitorar a corrente elétrica que passa pelo condutor responsável da alimentação da resistência, é essencial que o sinal seja transformado de forma analógica para tensão contínua.

Com o auxílio de componentes eletrônicos, foi desenvolvido um circuito auxiliar que fará esse controle, a Figura 20 apresenta as funções dos componentes, que fazem parte de transformar o sinal de corrente em tensão.

Figura 20: Condicionador do sinal de corrente discriminado.



Fonte: O autor (2021).

Este circuito da Figura 20 foi dividido em 5 etapas para fins de melhor explicação do sistema.

1 - Transformador de corrente do modelo RTC 5000, esse tem o objetivo de medir a corrente que passa através do condutor;

2 - Ganho inversor com estágio de meia onda;

3 - Ganho não inversor com retificador meia onda, este estágio consiste em um filtro passa baixa;

4 - Buffer não inversor, tem o objetivo de fazer um divisor de tensão, nele também consiste um filtro passa baixa;

5 - Ganho não inversor, consiste na utilização de um diodo Zenner que terá como principal função limitar a tensão em 10V (CC).

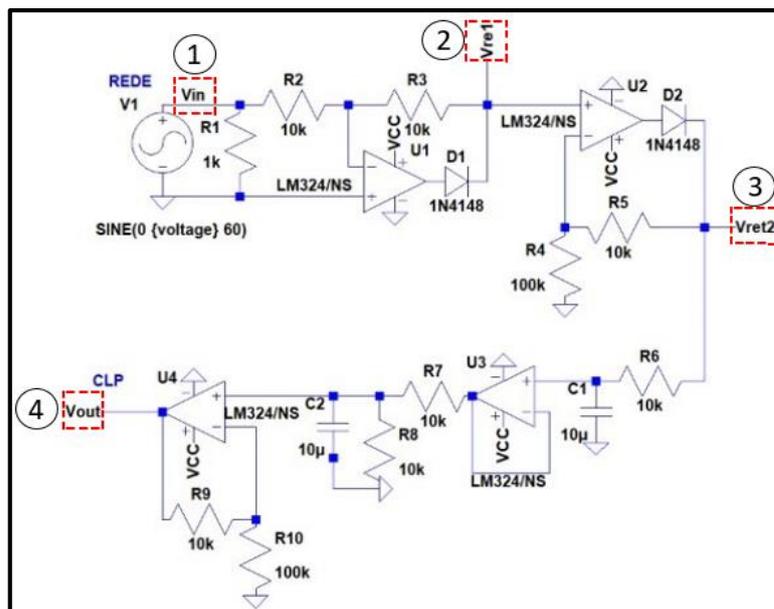
3.1.3 Simulação e prototipagem do *hardware* do condicionador de sinais elétricos

Com objetivo em deixar os condicionadores de sinais de tensão e corrente de forma modular, foi projetado para que os componentes e valores fossem os mesmos, somente substituindo os transformadores de entrada. O Anexo B apresenta a Tabela 8, nela consiste em uma lista de materiais dos componentes utilizados para o desenvolvimento dos condicionadores de sinais de tensão e corrente.

Com o auxílio do *software LTspice*, foi possível realizar as simulações e validações dos componentes do projeto eletrônico do condicionador de sinais elétricos.

A Figura 21 mostra os pontos de referência para monitorar os sinais de tensão do condicionador, esses pontos foram escolhidos especificamente com intuito de serem visualizadas as formas de onda, conforme a Figura 22, o sinal de entrada apresentado de forma alternada até a sua retificação na saída.

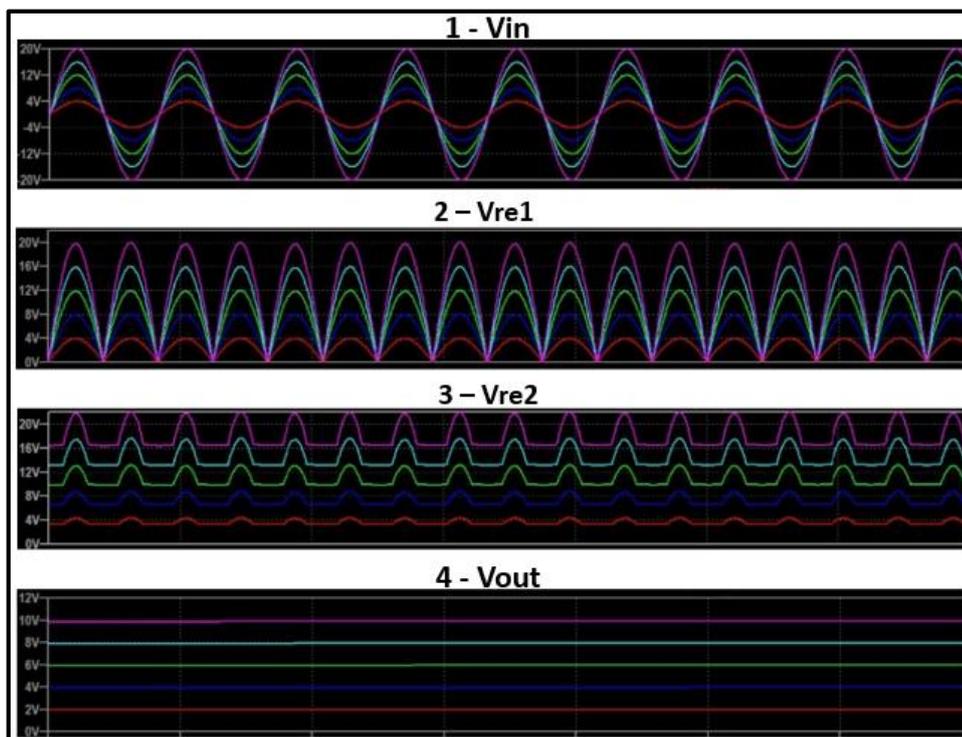
Figura 21: Pontos de referência para simulação.



Fonte: O autor (2021).

Como pode ser visto na Figura 22, os valores foram escalonados de modo a verificar se o comportamento do sistema ocorre de forma linear em relação a uma variação de entrada para os limites nominais da aplicação proposta.

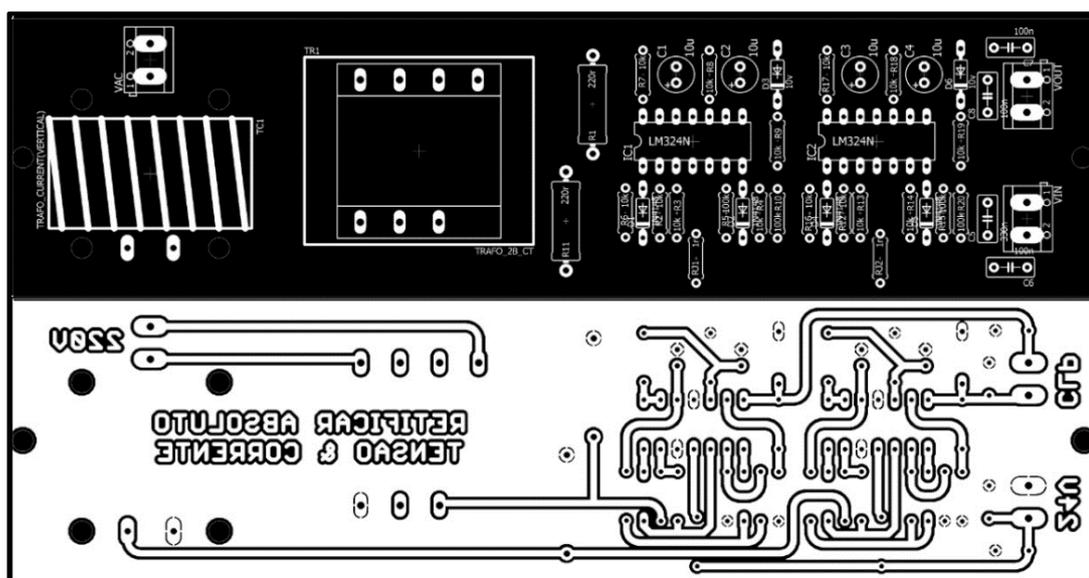
Figura 22: Formas de ondas do condicionador de sinais.



Fonte: O autor (2021).

Após ter realizado as simulações com o auxílio do *software Eagle*, foi desenvolvido o protótipo em forma de PCB, possibilitando que o circuito fique compacto e minimizando as perdas de sinais elétrico por meio de mal contato. A Figura 23 apresenta o projeto da PCB dos condicionadores de sinais.

Figura 23: Protótipo da PCB do condicionador de sinais.



Fonte: O autor (2021).

Depois de elaborar as distribuições dos componentes eletrônicos e trilhas, foi realizada a técnica de confecção da PCB, por recurso de passagem de ferro quente na superfície do papel coque, assim corroendo o cobre por meio do percloro de ferro, essa técnica foi realizada nos laboratórios da UCS (Universidade de Caxias do Sul). Após esses passos, foi necessário realizar as devidas furações, onde os componentes serão fixados e soldado os componentes, o resultado final apresenta na Figura 24.

Figura 24: Condicionador de sinais aplicado na PCB.



Fonte: O autor (2021).

Para medir os dados de tensão e corrente do condicionador de sinais, foi preciso ter uma alimentação trifásica, onde construiu-se três condicionadores de sinais idênticos, ou seja, cada condicionador é equivalente para monitoramento de uma fase. A Figura 25 apresenta os condicionadores de sinais confeccionados para as três fases.

Figura 25: Condicionadores de sinais de corrente e tensão para monitoramento do sistema trifásico.



Fonte: O autor (2021).

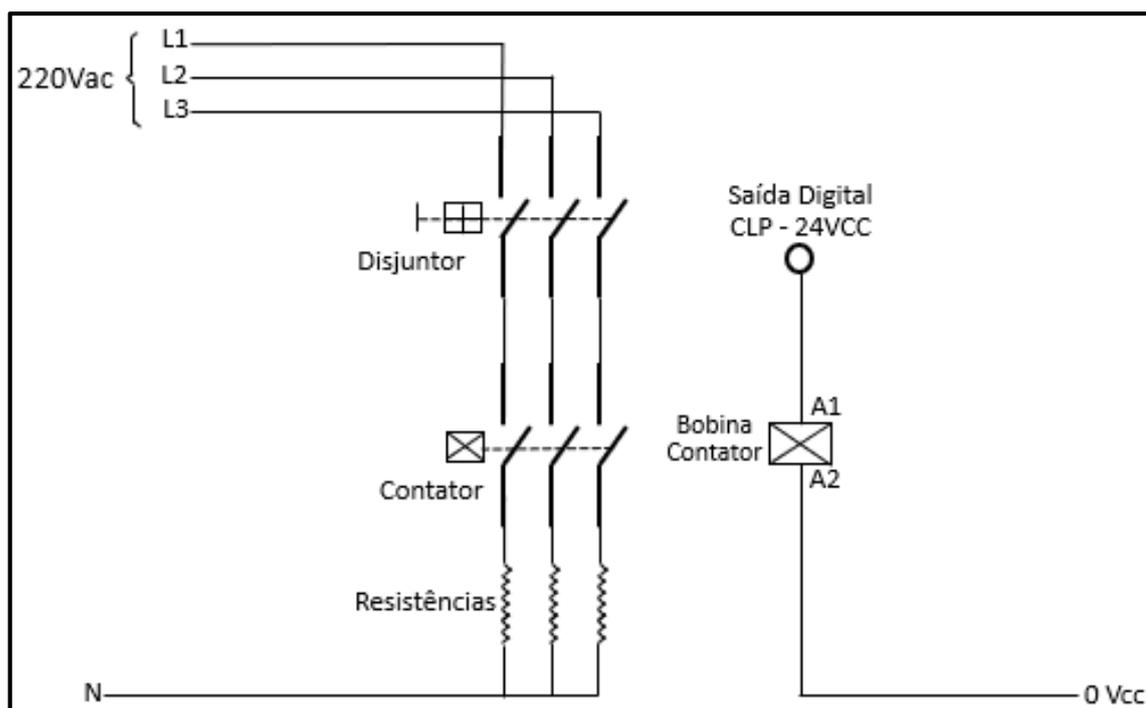
3.1.4 Acionamento e interligação dos dispositivos

O acionamento das resistências é realizado conforme o esquemático elétrico apresentado na Figura 26.

O circuito de potência demonstra uma forma de ligação de três resistências envolvendo um circuito trifásico. Um dispositivo do tipo contator realizará o chaveamento da passagem de tensão e corrente para a carga resistiva, e disjuntor para proteção do sistema.

O circuito de controle do acionamento da resistência é realizado através de uma saída digital do controlador, fazendo o acionamento da bobina magnética do dispositivo.

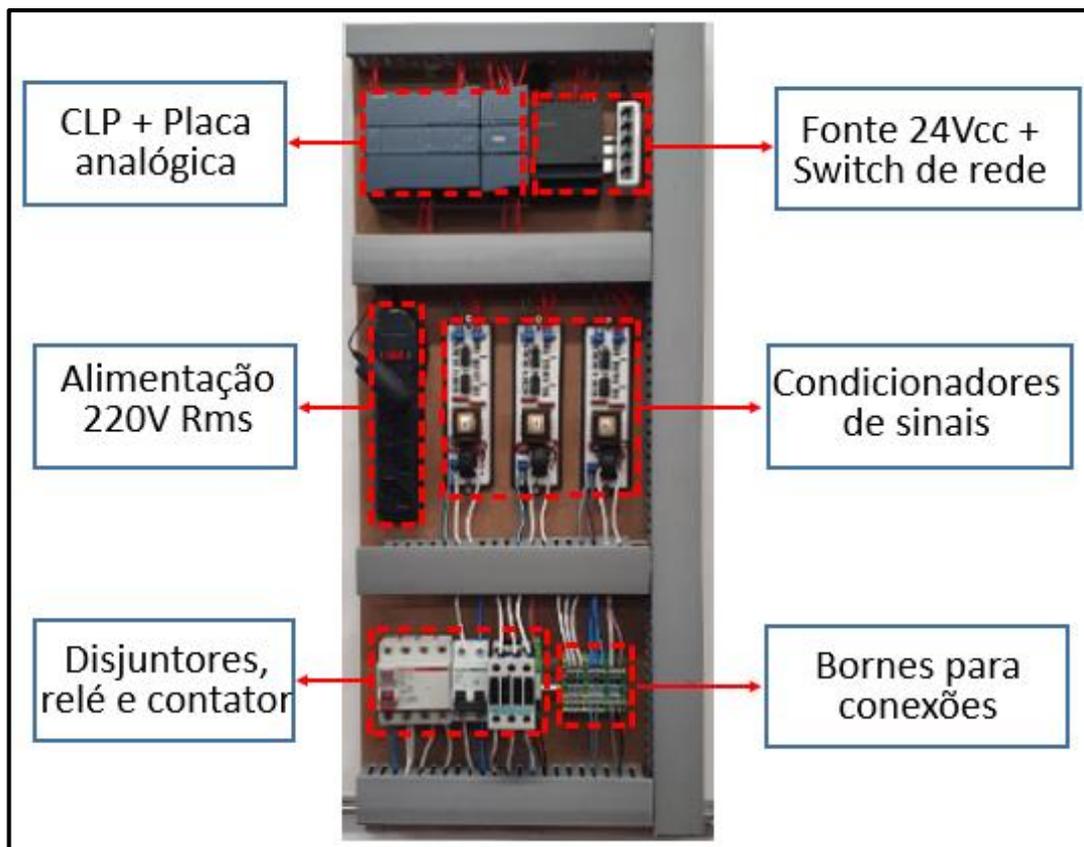
Figura 26: Esquemático elétrico envolvendo parte de potência e acionamento das resistências de aquecimentos através de um contator.



Fonte: O autor (2021).

Para fazer o controle do protótipo, realizou-se a montagem de um quadro de comando, instalou-se todos os dispositivos elétricos e eletrônicos num único conjunto. Esse quadro de comando tem como principal objetivo, unificar e deixar todo o sistema organizado, assim facilitando o trabalho. A Figura 27 apresenta a montagem do quadro de comando.

Figura 27: Quadro de comando do protótipo.



Fonte: O autor (2021).

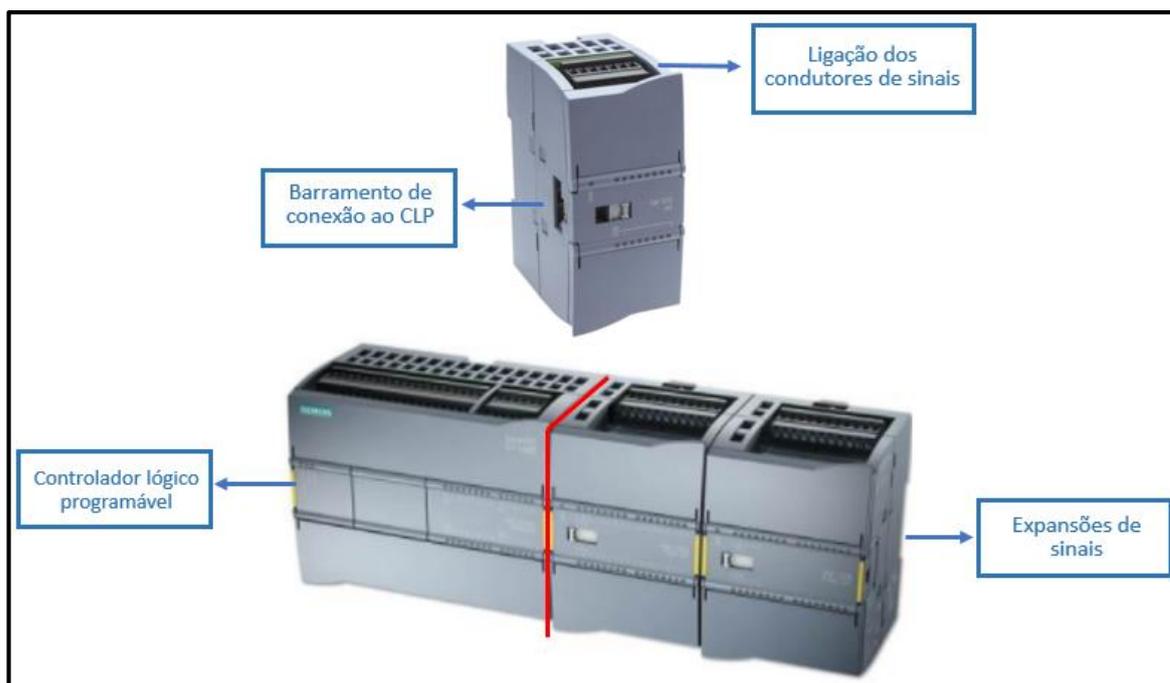
3.2 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL

Nessa sessão é abordada a etapa 3 do diagrama em blocos da metodologia, onde é apresentada a plataforma responsável pela execução do controle dos sinais elétricos. Os sinais são recebidos por intermédio do *hardware* de condicionamento de sinais, conforme a variação de tensão ou corrente. A finalidade dessa etapa é monitorar os fatores operacionais ao longo do tempo de uso do equipamento.

Para realizar o controle dos dados coletados, dispõe-se uma placa de entrada analógica, a mesma estará inserida na lateral do CLP fazendo com que o controlador tenha o acesso da leitura.

A Figura 28 apresenta a placa analógica e a conexão ao lado do CLP.

Figura 28: Especificação placa analógica e ligação no CLP.



Fonte: Adaptado de Siemens AG (2015).

Com as informações recebidas pela placa analógica, foi implementada a lógica de programação, onde serão salvas as informações principais em um banco de dados.

A plataforma de programação escolhida para desenvolvimento da lógica de funcionamento do protótipo, chama-se Tia Portal, homologada pelo fabricante de dispositivos Siemens.

Essa plataforma é completa, robusta e com demanda de utilização por grandes empresas. Além de ser empregada para o desenvolvimento de *softwares*, de CLP e interfaces, permite efetuar validações de topologias de rede, pode ser aplicada com um osciloscópio, entre outras funções existentes. (RAMOS, 2018).

3.2.1 Desenvolvimento do banco de dados

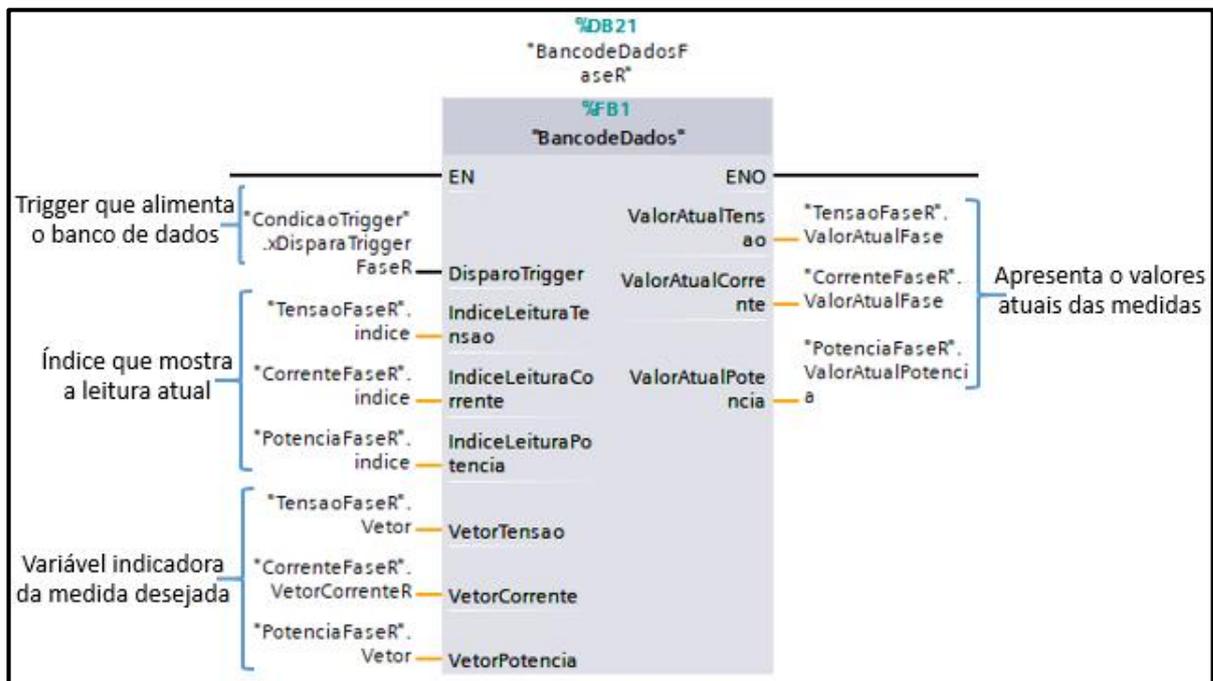
Para realizar o controle do armazenamento das medidas de tensão, corrente e potência das resistências feitas pelo condicionador de sinais, foi essencial desenvolver uma lógica de programação para armazenar essas informações em um banco de dados.

O modelo do controlador utilizado para o monitoramento desse projeto, tem como função ser um servidor, dessa forma não é necessário a aplicação de um *software* auxiliar.

A plataforma de programação do CLP, TIA Portal, tem o recurso de desenvolvimento de blocos de controle, chamados também de bibliotecas. Com o aproveitamento desse recurso, pode-se obter a agilidade do trabalho, ou seja, uma vez o bloco de controle criado e validado, pode ser operado e replicado em qualquer projeto, mudando apenas o nome e as variáveis de controle de entradas e saídas.

A Figura 29 apresenta o bloco do banco de dados desenvolvido pela plataforma TIA Portal.

Figura 29: Bloco de controle do banco de dados.



Fonte: O autor (2021).

A função de entrada do bloco de controle dispara o *trigger*, onde alimenta o banco de dados, Uma variável do tipo booleana realiza a configuração temporal através da interface gráfica. Essa variável será acionada quando contabilizar o tempo configurável pela passagem de corrente para a resistência.

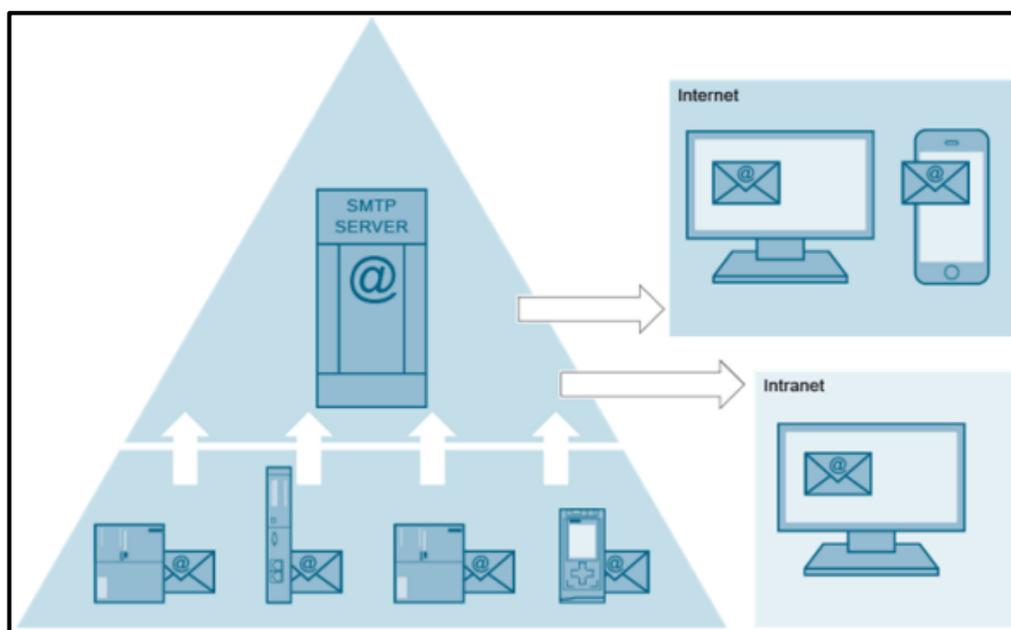
Todas as vezes que o *trigger* for acionado será incrementado uma posição do índice que percorrerá os vetores de tipo de variável real (*float*) das medidas reais

adquiridas, sendo assim aparecerá nas variáveis de saída do bloco de controle as medidas atuais.

3.2.2 Avisos de falhas através de e-mail

Com o intuito de facilitar e agilizar os trabalhos, o CLP também proporciona uma função de envios de e-mails com a utilização do protocolo SMTP (*Simple Mail Transfer Protocol*). A Figura 30 apresenta de forma o emprego desse protocolo, envios de e-mails para os computadores e aparelhos de telefones celulares.

Figura 30: Protocolo SMTP.



Fonte: Siemens AG (2018).

No projeto foi utilizado esse recurso para realizar o aviso ou alarme ao usuário quando ocorrer possíveis falhas no equipamento, ou seja, quando estiver habilitado o aquecimento da resistência e, se o condicionador de sinais identificar que não está passando corrente por alguma das fases que alimentam as resistências, irá avisar instantaneamente através desse recurso.

Para que esse recurso funcione de forma adequada, foi necessário criar um e-mail, para que o controlador gerencie quando precisar. Optou-se a utilização da plataforma Gmail, mas também podem ser acionadas outras plataformas.

Além de fazer algumas configurações na parte de segurança de envio de mensagens na plataforma do Gmail, também foi desenvolvido um ajuste nas configurações para que outra rede acesse o Gmail, configurando a biblioteca responsável por envios de e-mails. A Figura 31 mostra as configurações adequadas da estruturas de dados de envio e recebimento das mensagens quando necessário.

Figura 31: Configurações da estrutura de dados para envio de email.

Configurações de envio				Configurações de recebimento			
1	Static			1	Static		
2	connParamGmail	TMail_QDN_SEC	64	2	to_5	String	'jpjunior1@ucs.com'
3	InterfaceId	HW_ANY	64	3	subject	String	'Alerta de Falha'
4	ID	CONN_OUC	16#1	4	text	String	''
5	ConnectionType	Byte	16#22	5	request	Bool	false
6	ActiveEstablished	Bool	true	6	done	Bool	false
7	WatchDogTime	Time	1#0ms	7	doneOld	Bool	false
8	MailServerQDN	String[254]	'smtp.gmail.com.'	8	busy	Bool	false
9	UserName	String[254]	'jaipainjunior.tcc2@gmail.com'	9	error	Bool	false
10	PassWord	String[254]	'Paini1989'	10	errorOld	Bool	false
11	From	EMAIL_ADDR		11	status	Word	16#0
12	RemotePort	UInt	587	12	statusSave	Word	16#0
13	ActivateSecureConn	Bool	true	13	cntError	Int	0
14	ExtTLSCapabilities	Byte	16#0	14	cntDone	Int	0
15	TLSSEServerCertRef	UDInt	6				

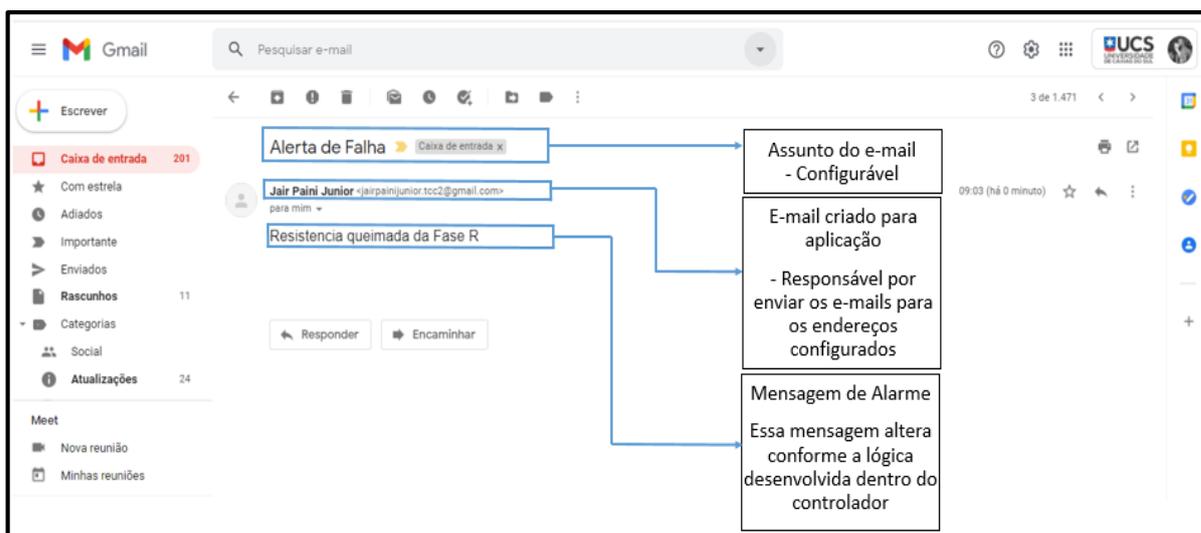
Mensagem configurada			
1	Static		
2	FalhaFaseR	String[40]	'Resistencia queimada da Fase R'
3	FalhaFaseS	String[40]	'Resistencia queimada da Fase S'
4	FalhaFaseT	String[40]	'Resistencia queimada da Fase T'

Fonte: O autor (2021).

Conforme visto nas configurações de envio da Figura 31, toda a vez que ocorrer uma situação de alarme, o controlador acessa as configurações, para poder enviar as mensagens definidas de recebimento.

Também podem ser visualizadas na Figura 31 as configurações de recebimento de mensagens, onde foi definido o endereço de destino e o assunto que aparecerá na mensagem. Com todas as configurações realizadas e a lógica de programação construída, pode-se visualizar na Figura 32 o envio do e-mail feito pelo CLP e o recebimento da mensagem pela plataforma Gmail.

Figura 32: Mensagem de alarme enviada pelo CLP.



Fonte: O autor (2021).

3.2.3 Monitoramento e armazenamento dos dados na “nuvem”

Nesse tópico será abordado o monitoramento e armazenamento dos dados na “nuvem”. Será utilizado, o CLP e o protocolo OPC UA (*Open Platform Communications Unified Architecture*).

Além desse protocolo estar disponível no *firmware* do CLP, o mesmo trabalha como servidor, sendo assim é desnecessária a utilização de um servidor externo. Para o monitoramento dos dados e a utilização desse protocolo, foi empregado o *software* chamado *Unified Automation UaExpert* é mostrado na Figura 33.

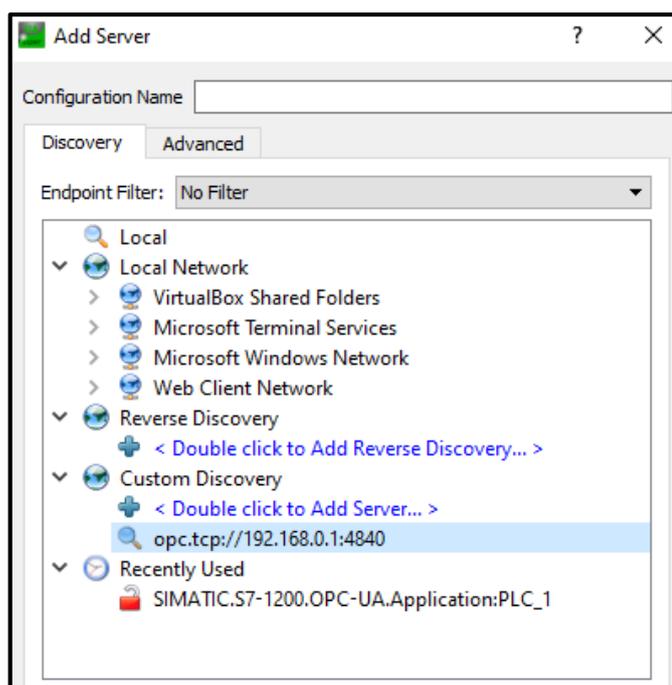
Figura 33: *Software Unified Automation UaExpert* responsável em monitorar os dados na nuvem.



Fonte: Unified Automation GmbH (2020).

Para o monitoramento dos dados funcionar adequadamente, é indispensável configurar o endereço do servidor do CLP, pois através dele que os dados irão trafegar, e se comunicar com o *software* de monitoramento *Unified Automation UaExpert*. As configurações serão apresentadas na Figura 34.

Figura 34: Configuração do endereço do servidor do CLP.



Fonte: O autor (2021).

Com as configurações realizadas corretamente, conecta-se a porta de rede do CLP com a do computador, assim o usuário poderá escolher os dados que deseja monitorar, conforme apresentado na Figura 35.

Figura 35: Dados do CLP sendo monitorados na nuvem através do *Unified Automation UaExpert*.

#	Server	Value	Datatype	Statuscode
1	SIMATIC.S7-1200.OPC-UA.Application:PLC_1	9.46832	Float	Good
2	SIMATIC.S7-1200.OPC-UA.Application:PLC_1	9.44553	Float	Good
3	SIMATIC.S7-1200.OPC-UA.Application:PLC_1	9.4298	Float	Good
4	SIMATIC.S7-1200.OPC-UA.Application:PLC_1	9.28928	Float	Good
5	SIMATIC.S7-1200.OPC-UA.Application:PLC_1	9.29308	Float	Good
6	SIMATIC.S7-1200.OPC-UA.Application:PLC_1	9.28385	Float	Good
7	SIMATIC.S7-1200.OPC-UA.Application:PLC_1	9.29959	Float	Good
8	SIMATIC.S7-1200.OPC-UA.Application:PLC_1	9.32454	Float	Good
9	SIMATIC.S7-1200.OPC-UA.Application:PLC_1	9.30447	Float	Good
10	SIMATIC.S7-1200.OPC-UA.Application:PLC_1	9.55946	Float	Good
11	SIMATIC.S7-1200.OPC-UA.Application:PLC_1	9.31641	Float	Good
12	SIMATIC.S7-1200.OPC-UA.Application:PLC_1	9.31478	Float	Good
13	SIMATIC.S7-1200.OPC-UA.Application:PLC_1	9.32563	Float	Good
14	SIMATIC.S7-1200.OPC-UA.Application:PLC_1	9.34299	Float	Good
15	SIMATIC.S7-1200.OPC-UA.Application:PLC_1	9.3278	Float	Good
16	SIMATIC.S7-1200.OPC-UA.Application:PLC_1	9.32943	Float	Good
17	SIMATIC.S7-1200.OPC-UA.Application:PLC_1	9.48134	Float	Good
18	SIMATIC.S7-1200.OPC-UA.Application:PLC_1	9.43414	Float	Good
19	SIMATIC.S7-1200.OPC-UA.Application:PLC_1	9.44282	Float	Good
20	SIMATIC.S7-1200.OPC-UA.Application:PLC_1	9.42057	Float	Good
21	SIMATIC.S7-1200.OPC-UA.Application:PLC_1	9.54427	Float	Good
22	SIMATIC.S7-1200.OPC-UA.Application:PLC_1	9.36849	Float	Good
23	SIMATIC.S7-1200.OPC-UA.Application:PLC_1	9.5536	Float	Good
24	SIMATIC.S7-1200.OPC-UA.Application:PLC_1	9.35167	Float	Good
25	SIMATIC.S7-1200.OPC-UA.Application:PLC_1	9.29959	Float	Good
26	SIMATIC.S7-1200.OPC-UA.Application:PLC_1	9.27843	Float	Good
27	SIMATIC.S7-1200.OPC-UA.Application:PLC_1	9.22146	Float	Good
28	SIMATIC.S7-1200.OPC-UA.Application:PLC_1	9.19542	Float	Good
29	SIMATIC.S7-1200.OPC-UA.Application:PLC_1	9.21712	Float	Good
30	SIMATIC.S7-1200.OPC-UA.Application:PLC_1	9.19108	Float	Good
31	SIMATIC.S7-1200.OPC-UA.Application:PLC_1	9.19813	Float	Good
32	SIMATIC.S7-1200.OPC-UA.Application:PLC_1	9.52583	Float	Good
33	SIMATIC.S7-1200.OPC-UA.Application:PLC_1	9.19922	Float	Good
34	SIMATIC.S7-1200.OPC-UA.Application:PLC_1	9.21387	Float	Good
35	SIMATIC.S7-1200.OPC-UA.Application:PLC_1	9.22689	Float	Good
36	SIMATIC.S7-1200.OPC-UA.Application:PLC_1	9.23123	Float	Good
37	SIMATIC.S7-1200.OPC-UA.Application:PLC_1	9.19542	Float	Good
38	SIMATIC.S7-1200.OPC-UA.Application:PLC_1	9.20464	Float	Good
39	SIMATIC.S7-1200.OPC-UA.Application:PLC_1	9.23394	Float	Good
40	SIMATIC.S7-1200.OPC-UA.Application:PLC_1	9.23828	Float	Good
41	SIMATIC.S7-1200.OPC-UA.Application:PLC_1	9.29525	Float	Good
42	SIMATIC.S7-1200.OPC-UA.Application:PLC_1	9.23991	Float	Good
43	SIMATIC.S7-1200.OPC-UA.Application:PLC_1	9.55458	Float	Good
44	SIMATIC.S7-1200.OPC-UA.Application:PLC_1	9.27355	Float	Good
45	SIMATIC.S7-1200.OPC-UA.Application:PLC_1	9.54373	Float	Good
46	SIMATIC.S7-1200.OPC-UA.Application:PLC_1	9.51877	Float	Good

Fonte: O autor (2021).

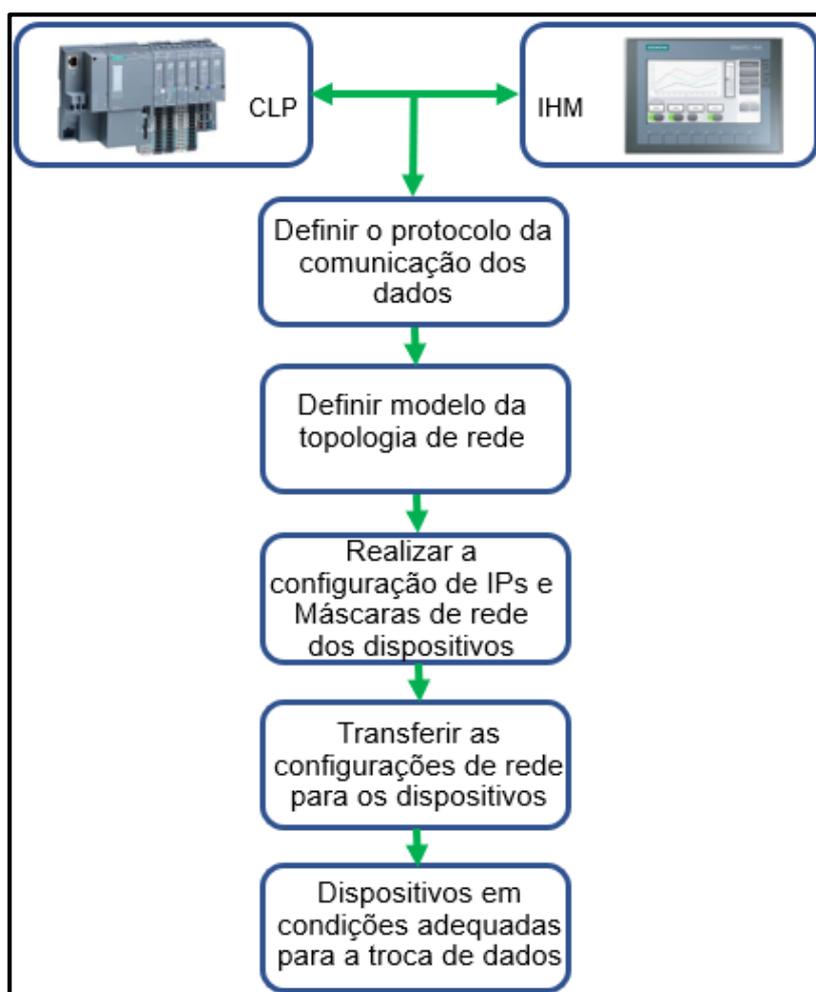
3.3 IMPLEMENTAÇÃO DE TROCA DE DADOS ENTRE OS DISPOSITIVOS CLP E INTERFACE GRÁFICA

Uma forma de implementação de troca de dados, entre o controlador lógico programável e a interface gráfica, pode ser realizada por meio de rede de comunicação de dados.

A lógica de programação dos controladores lógicos programáveis consiste em endereços chamados de *tags*, que são variáveis que representam bits e valores, os mesmos são declarados na estrutura de *tags* na lógica de programação.

Sendo assim, será preciso efetivar as configurações necessárias para que os dados sejam recebidos e enviados corretamente, conforme apresenta o fluxograma da Figura 36.

Figura 36: Fluxograma do método de configuração da rede de comunicações entre os dispositivos.

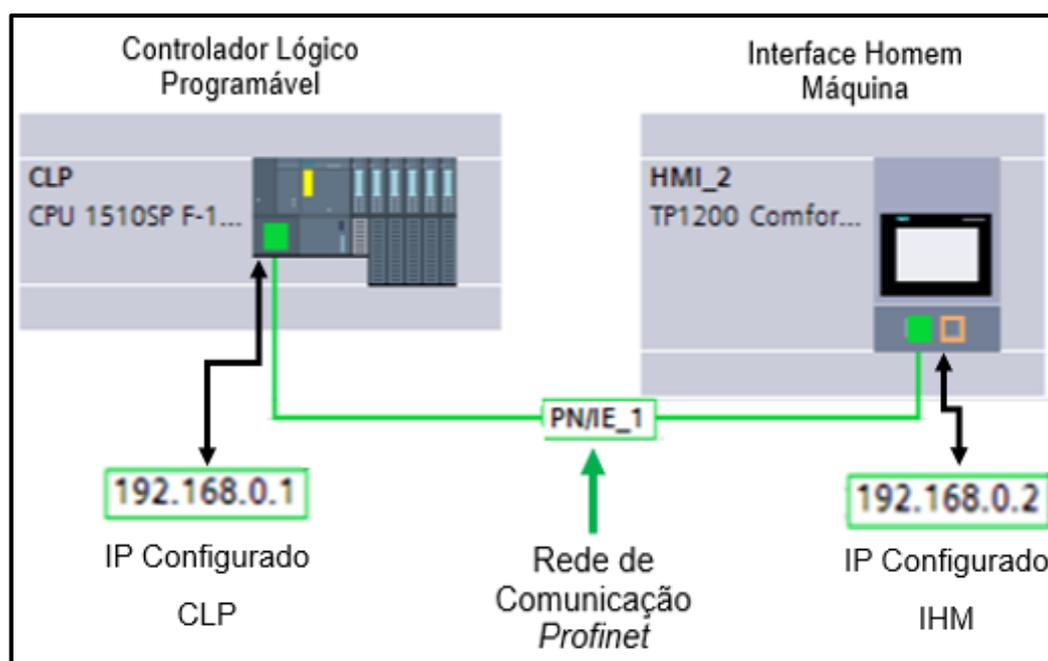


Fonte: O autor (2020).

O meio de comunicação entre o CLP e a interface gráfica acontece mediante a aplicação da rede de comunicação de dados, onde é empregada a topologia de rede do modelo em linha e a utilização do protocolo *Profinet*.

A Figura 37 apresenta a forma de topologia de rede, juntamente com a configuração dos IPs determinados para a aplicação desse protótipo.

Figura 37: Topologia de rede e configuração dos IPs determinados que envolve os dispositivos do protótipo.



Fonte: O autor (2020).

Para o funcionamento do protocolo *Profinet*, é necessário fazer a configuração dos endereços IPs e máscaras de rede de cada dispositivo utilizado na aplicação. Esses endereços não podem ser repetidos, caso contrário, não funcionará corretamente devido ao conflito de informações.

A definição dos endereços de rede do protótipo são: Para o CLP consta o IP 192.168.0.1 e a interface gráfica o IP 192.168.0.2. Para funcionamento adequado é essencial manter sempre a mesma faixa de IP, conforme apresenta na Figura 37.

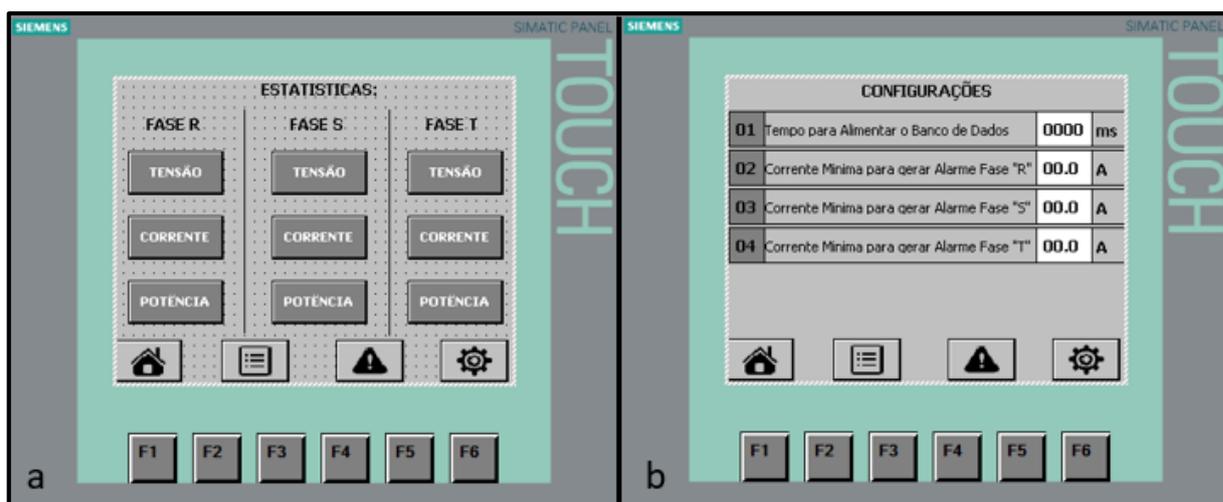
Ao fazer o endereçamento de rede desse protocolo não pode-se utilizar o primeiro e nem o último endereço de rede. O primeiro é o indicador, onde informa o início da rede, já o último, é o endereço que envia mensagens sem respostas, conhecido como endereço de *broadcast*.

3.3.1 Desenvolvimento da interface gráfica

A interface gráfica será também desenvolvida pela plataforma Tia Portal e, terá o objetivo de visualizar os resultados através das lógicas de programação do CLP, onde apresentará as informações em formas numéricas.

Nessa etapa apresentará as opções de visualização das informações e, serão separados em diversas telas, com o intuito de facilitar a navegação e visualização dos dados, conforme apresenta na Figura 38(a). O usuário poderá visualizar em tempo real as medidas de tensão, corrente e potência das resistências, também terá acesso às configurações de novos *triggers* de *setpoints* para controle e monitoramento do banco de dados, podendo também configurar as correntes mínimas para que o CLP envie e-mail para o usuário indicando a presença de um alarme conforme a Figura 38(b).

Figura 38: Seleção das medidas das fases selecionadas.

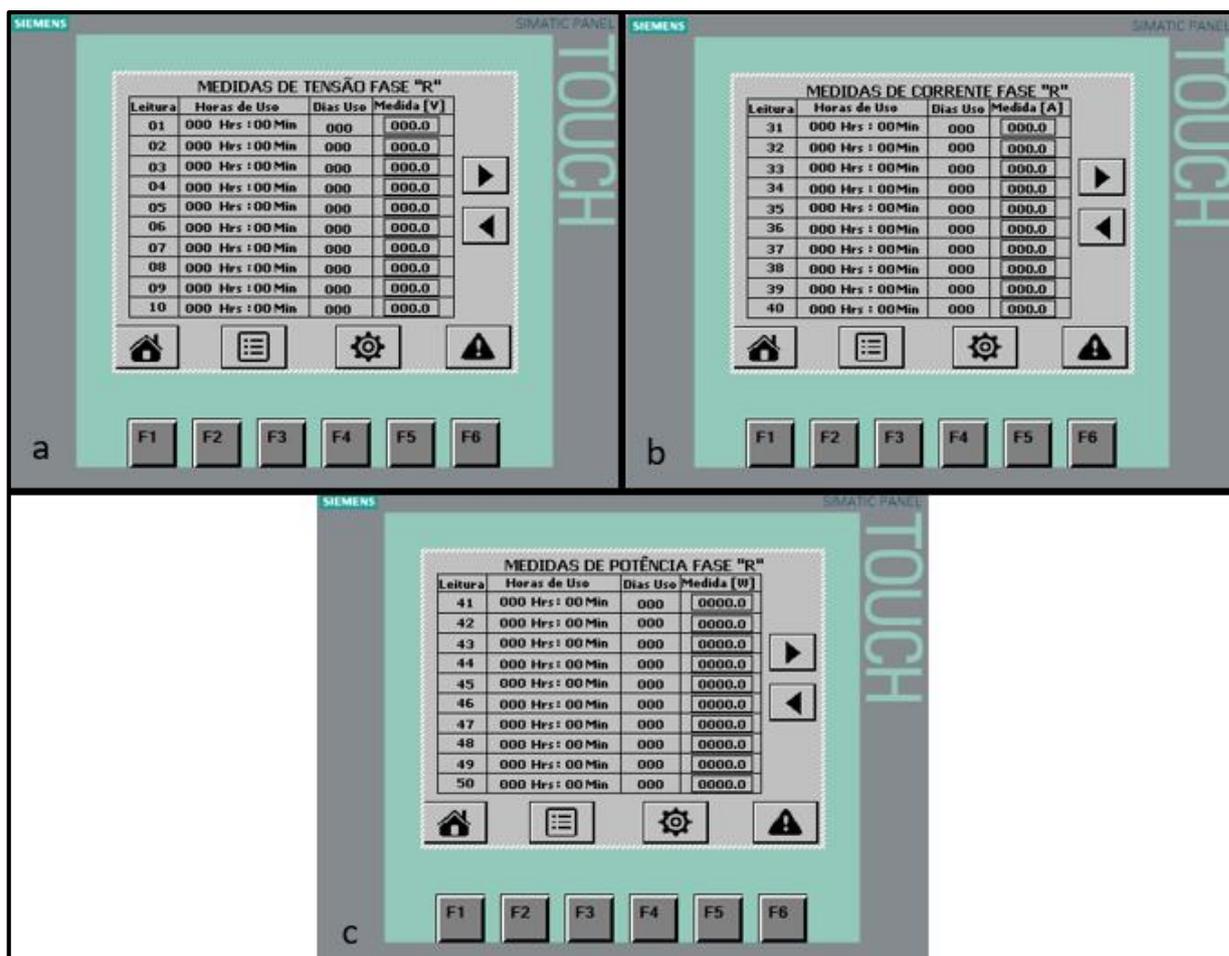


Nota: a figura (a) Tela de seleção das medidas armazenadas no banco de dados, conforme a respectiva fase e (b) Configurações que o usuário poderá fazer.

Fonte: O autor (2021).

As informações provenientes de cada medida adquirida pelo banco de dados serão monitoradas de forma individual na interface gráfica desenvolvida. Os resultados serão apresentados em formatos de horas, minutos e dias da utilização das resistências, conforme aparece na Figura 39(a), 39(b) e 39(c).

Figura 39: Medidas de apresentadas pelo armazenamento do banco de dados.



Nota: a figura (a) Desenvolvimento para mostrar a leitura de tensão elétrica, b) Desenvolvimento para mostrar a leitura de corrente elétrica e c) Desenvolvido para mostrar a potência elétrica.

Fonte: O autor (2021).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para coleta e análise dos dados foram realizadas medições em condições operacionais do protótipo equivalente. Os dados obtidos através de tensão e corrente nas resistências de aquecimento do túnel de encolhimento, foram enviados para um controlador lógico programável, onde nele são armazenadas as informações coletadas em um banco de dados. Além disso, os dados podem ser visualizados pela interface gráfica e pelo *software* conectado ao computador para verificação de dados na nuvem.

As seções a seguir tratam dos resultados das validações dos condicionadores de sinais, lógicas de programações do CLP e da interface gráfica junto com o monitoramento e armazenamento dos dados na nuvem.

Inicialmente foram realizadas coletas para verificação dos sinais obtidos dos condicionadores de tensão e corrente. Com intuito de monitorar as condições do equipamento durante um período maior de tempo, também foram realizadas coletas semanais, a fim de averiguar o funcionamento e análise dos resultados do equipamento.

4.1 RESULTADOS DO CONDICIONADOR DE SINAIS DE TENSÃO

Para a validação dos resultados do condicionador de sinais de tensão, foi necessário deixar o sinal da leitura de saída proporcional ao valor da leitura de entrada de tensão.

Para realizar a caracterização da linearidade do condicionador de sinais de tensão, inicialmente foram realizados testes de validação para o condicionador. Foi conectada ao circuito do protótipo do túnel de encolhimento uma carga nominal semelhante as resistências do túnel de encolhimento, assim foram executadas 10 medidas conforme apresenta nas Tabelas 9,10 e 11 no anexo C, com os condicionadores de sinais respectivos a cada fase. Além disso, também foi realizado o cálculo do desvio padrão das medidas e apresentados na Tabela 3. Os dados obtidos pelo condicionador foram comparados aos dados obtidos por um multímetro digital, modelo ET-2042, marca *Minipa*, conforme anexo E.

Com a utilização do equipamento variac, possibilitou variar a tensão elétrica para níveis de caracterização do sistema. O valor médio das medidas do multímetro foi obtido com o mesmo número de medidas dos condicionadores de sinais de tensão.

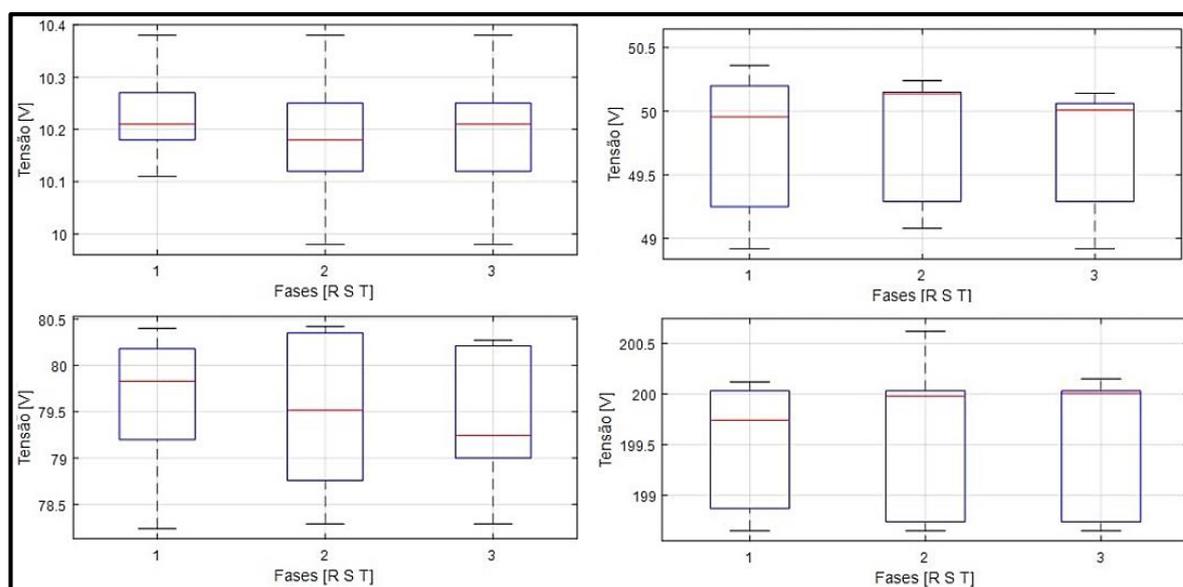
Tabela 3: Resultados de medições para caracterização do sistema, Multímetro x Condicionador de sinais de tensão.

Valor Medido Multímetro (V)	Condicionador Fase R (V)	Condicionador Fase S (V)	Condicionador Fase T (V)
10,45	10,23 ± 0,088	10,17 ± 0,125	10,197 ± 0,108
20,54	19,92 ± 0,479	20,27 ± 0,381	19,97 ± 0,514
30,45	29,57 ± 0,484	29,62 ± 0,743	29,61 ± 0,654
40,12	39,57 ± 0,560	39,80 ± 0,461	39,56 ± 0,589
50,37	49,79 ± 0,520	49,84 ± 0,488	49,76 ± 0,473
60,24	59,66 ± 0,484	59,63 ± 0,455	59,64 ± 0,425
80,4	79,66 ± 0,685	79,53 ± 0,788	79,46 ± 0,714
120,3	119,44 ± 0,731	119,62 ± 0,638	119,54 ± 0,624
159,45	159,75 ± 0,423	159,96 ± 0,460	159,83 ± 0,409
200,4	199,55 ± 0,585	199,56 ± 0,728	199,51 ± 0,705
220,5	219,55 ± 0,606	219,48 ± 0,648	219,50 ± 0,582
231	229,70 ± 0,764	229,41 ± 0,909	229,15 ± 0,760

Fonte: O autor (2021).

Após adquirir as medidas respectivas de tensão das fases R, S e T, conforme apresenta nas Tabelas 9, 10 e 11 no Anexo C, e com utilização do *software Matlab* e utilizando uma análise gráfica de caixas (*boxplot*), foi possível plotar os gráficos de tensão, conforme apresenta na Figura 40.

Figura 40: Medidas apresentadas pela caracterização do condicionador de sinais de tensão.



Fonte: O autor (2021).

A Figura 40 apresenta a plotagem de 4 gráficos, onde foi escolhido faixas de tensão que variam de 10,4V (AC), 50,5V (AC), 80,5V (AC) e 200,5V (AC). Assim nota-se que para cada faixa de tensão a situação varia para cada fase.

Para o caso de variação nas faixas de 10V (AC) e 80V (AC), notou-se que o comportamento na fase R obtém-se a menor variabilidade, já as fases S e T obtiveram comportamentos bem semelhantes. Nas faixas de tensão que varia de 80V (AC) e 200V (AC), percebeu-se que ambas as fases tem o comportamento semelhante em sua variação.

O condicionador de sinais mede a tensão de entrada de forma analógica, sendo assim irá variar o sinal de 0 a 10V (CC) em sua saída. Com a utilização do variac, foi possível variar níveis de tensão de entrada para verificar a linearidade do sinal da saída. A Tabela 4 apresenta de forma simplificada a relação de medidas proporcionais de conversão de sinais de tensão de entrada pela saída.

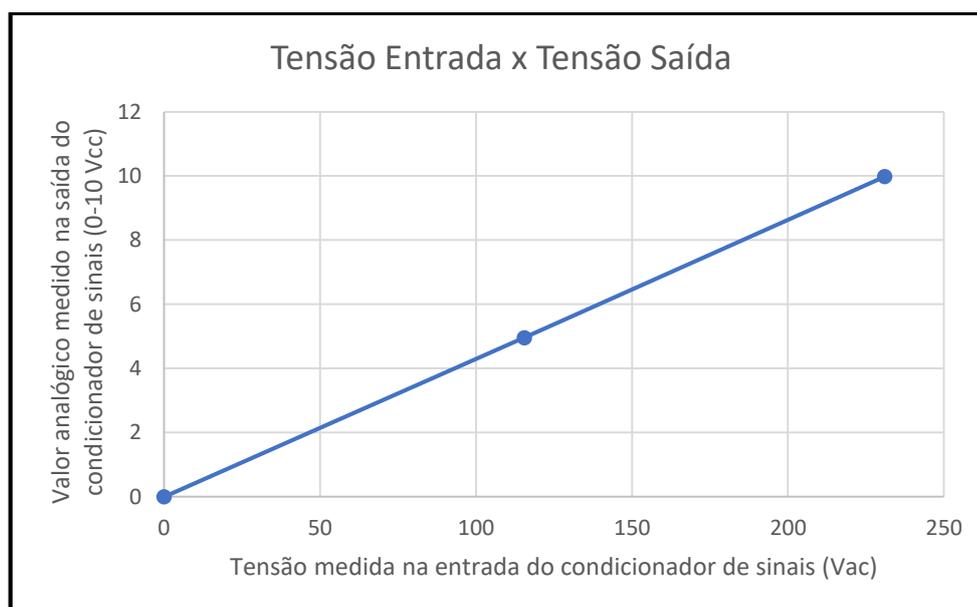
Tabela 4: Leitura realizada pelo condicionador de sinal de tensão, entrada x saída.

Medição de entrada do condicionador de sinais V(AC)	Medição de Saída do condicionador de sinais V(CC)
0	0
115,5	4,96
231	9,98

Fonte: O autor (2021).

Com a utilização dos dados medidos da Tabela 4, foi utilizado o *software* Excel para plotar o gráfico que apresenta o sinal da tensão de entrada em relação a tensão de saída do condicionador de sinais, conforme mostra a Figura 41.

Figura 41: Resposta da relação da tensão de entrada x tensão de saída.



Fonte: O autor (2021).

4.2 RESULTADOS DO CONDICIONADOR DE SINAIS DE CORRENTE

Assim como no condicionador de sinais de tensão, o mesmo procedimento de testes para validação foi executado no caso do circuito condicionador para a medição da corrente.

Para realizar a caracterização da linearidade do condicionador de sinais de corrente, foi necessário fazer uma série de 10 medidas conforme apresenta nas Tabelas 12,13 e 14 no anexo D, com os condicionadores de sinais respectivos a cada fase. Os dados obtidos pelo condicionador foram comparados aos dados obtidos por um multímetro digital, modelo ET-2042, marca *Minipa*, conforme anexo E.

Com a utilização do equipamento variac, foi realizada a variação da corrente elétrica para níveis de caracterização do sistema. O valor médio das medidas do multímetro foi obtido com o mesmo número de medidas dos condicionadores de sinais corrente, assim foi possível comparar os resultados.

A Tabela 5 apresenta as medições realizadas pelos condicionadores. Essas medições também podem ser visualizadas na Figura 42.

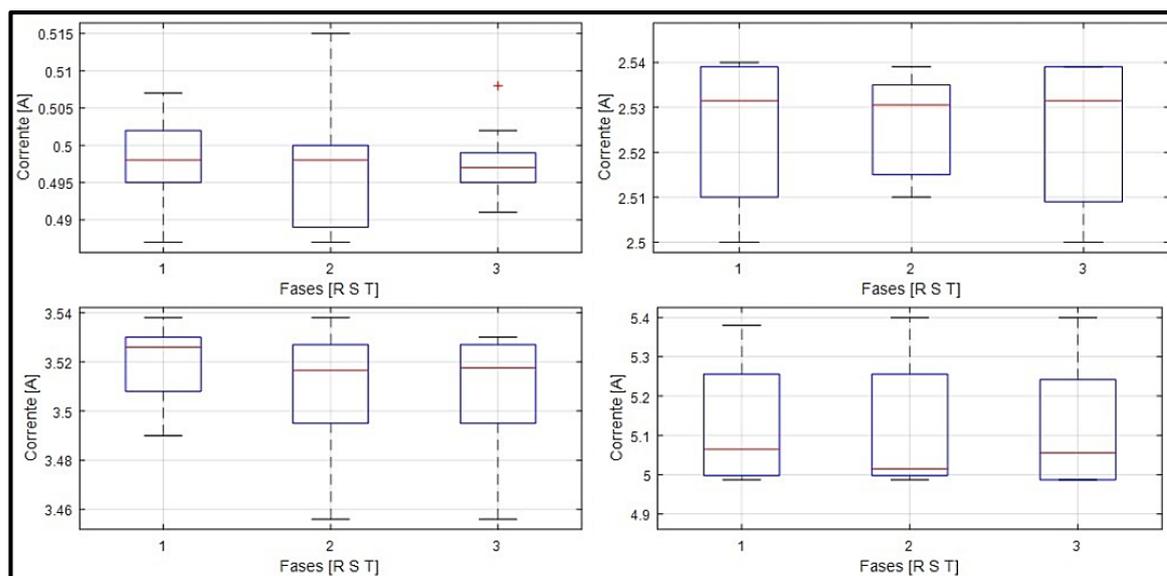
Tabela 5: Resultados de medições para caracterização do sistema, Multímetro x Condicionador de sinais de corrente.

Valor Medido Multímetro (A)	Condicionador Fase R (A)	Condicionador Fase S (A)	Condicionador Fase T (A)
0,51	0,497 ± 0,006	0,497 ± 0,008	0,497 ± 0,004
1,1	1,003 ± 0,033	1,009 ± 0,048	1,024 ± 0,047
1,52	1,504 ± 0,011	1,496 ± 0,041	1,492 ± 0,025
2,12	2,040 ± 0,060	2,010 ± 0,077	2,045 ± 0,085
2,54	2,526 ± 0,014	2,527 ± 0,010	2,524 ± 0,015
3,04	3,015 ± 0,025	2,996 ± 0,043	3,005 ± 0,048
3,53	3,518 ± 0,016	3,509 ± 0,024	3,508 ± 0,024
4,07	4,013 ± 0,026	4,022 ± 0,036	4,016 ± 0,034
4,51	4,507 ± 0,032	4,503 ± 0,034	4,498 ± 0,013
5,4	5,123 ± 0,154	5,119 ± 0,158	5,111 ± 0,151
5,5	5,493 ± 0,006	5,490 ± 0,006	5,490 ± 0,008
6	5,943 ± 0,053	5,930 ± 0,061	5,934 ± 0,058

Fonte: O autor (2021).

Após adquirir as respectivas medidas de corrente nas fases R, S e T, conforme apresenta nas Tabelas 12, 13 e 14 no Anexo D, e com utilização do *software Matlab* e utilizando uma análise gráfica de caixas (*boxplot*), foi possível plotar os gráficos de corrente, conforme apresenta na Figura 42.

Figura 42: Medidas apresentadas pela caracterização do condicionador de sinais de corrente.



Fonte: O autor (2021).

A Figura 42 apresenta a plotagem de 4 gráficos, onde foi escolhido faixas de variação de corrente de 0,49A, 2,5A, 3,54A e 5,4A. Nota-se que para cada faixa de tensão a situação varia para cada fase.

Para o caso de variação nas faixas de 10V (AC) e 80V (AC), percebe-se que o comportamento na fase R obtém uma menor variabilidade, já nas demais fases obtiveram comportamentos bem parecidos. Para as faixas de variação de corrente de 3,54A e 5,4A, percebeu-se que ambas as fases tem o comportamento semelhante em sua variação.

O condicionador de sinais de corrente mede a corrente de entrada proporcional a forma analógica de tensão, assim irá variar o sinal de 0 a 10V (CC) em sua saída.

Analogamente as medições do final de tensão, com a utilização do variac foi possível variar níveis de corrente na entrada para verificar a linearidade do sinal da

saída. A Tabela 6, mostra de forma simplificada, a relação de medidas proporcionais de conversão de sinais de tensão de entrada pela saída.

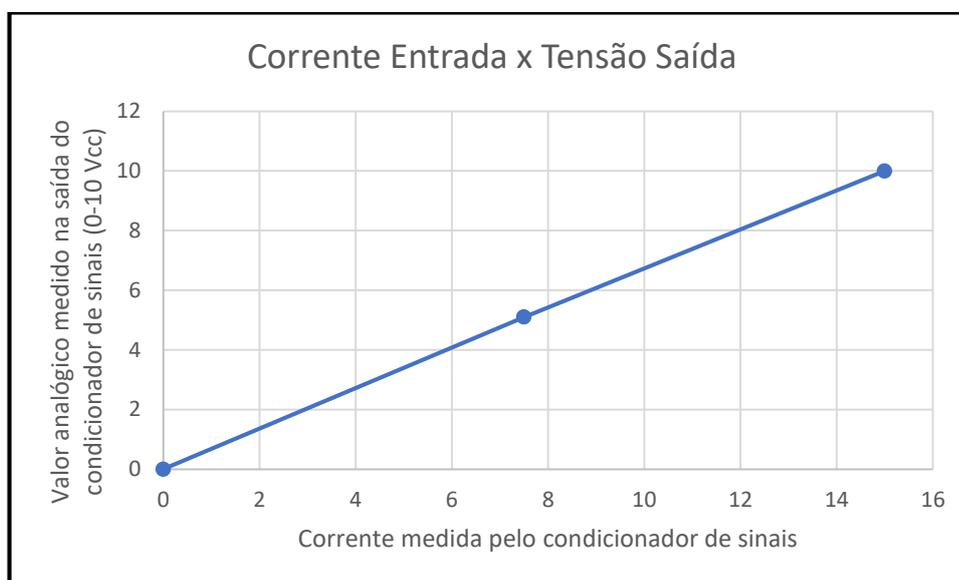
Tabela 6: Leitura realizada pelo condicionador de sinal de corrente, entrada x saída.

Medição de entrada do condicionador de sinais (A)	Medição de Saída do condicionador de sinais V (CC)
0	0
7,5	5,1
15	9,998

Fonte: O autor (2021).

Com os dados medidos da Tabela 6, foi usado o *software Excel* para plotar o gráfico que apresenta o sinal da tensão de entrada, em relação a tensão de saída do condicionador de sinais, conforme mostra a Figura 43.

Figura 43: Resposta da relação da corrente de entrada x tensão de saída.



Fonte: O autor (2021).

4.3 RESULTADOS DO MONITORAMENTO DAS CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DO PROTÓTIPO

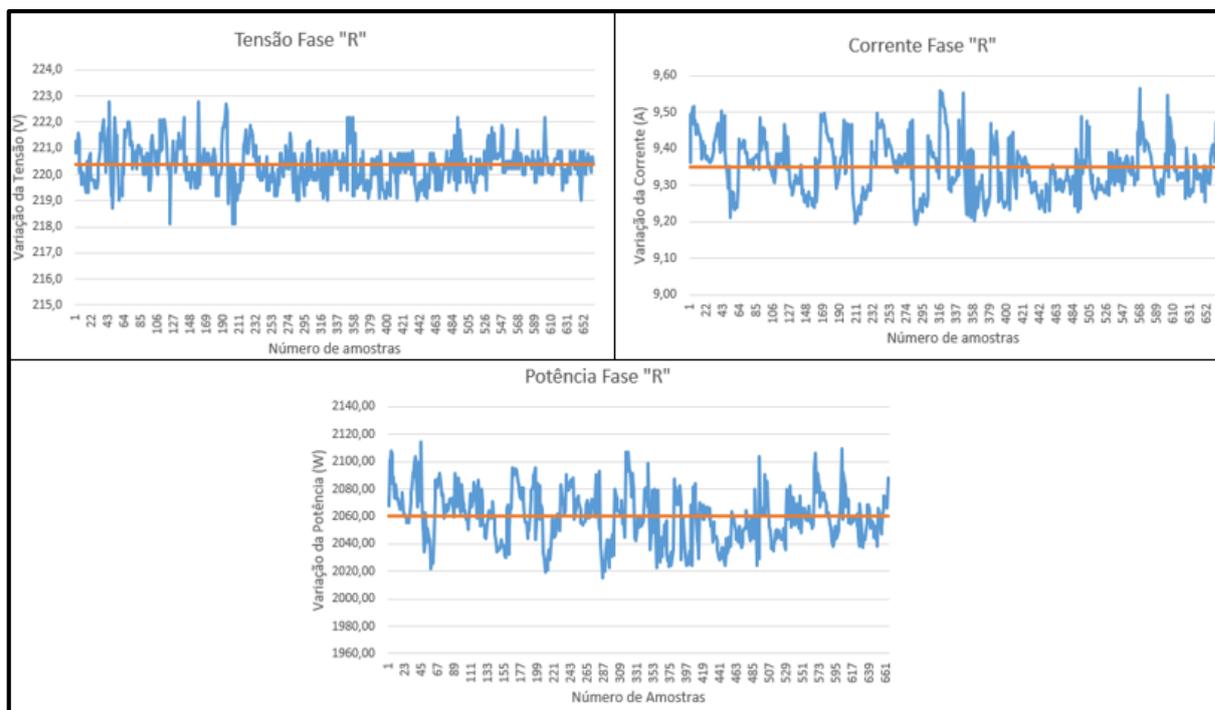
O banco de dados é responsável pelo armazenamento de todas as medidas de tensão, corrente e potência do sistema. Já a interface gráfica é responsável pelo controle do monitoramento do usuário conforme as medidas registradas.

Com objetivo de monitorar o comportamento do protótipo ao longo de um período de tempo maior, foram realizados ensaios no túnel de encolhimento considerando um período de 14 dias e aproximadamente 126 horas. O experimento foi executado no laboratório da Engenharia Elétrica da Universidade de Caxias do Sul, especificamente no campus do CARVI.

Após a instalação adequada do painel do equipamento e a conexão com a rede elétrica, foi necessário ajustar as configurações na interface gráfica do protótipo, assim como ilustrado na Figura 38(a) e (b). Salieta-se que por questões de normas internas do laboratório e segurança, o equipamento não ficou em atividade durante todo período de monitoramento. No decorrer desse período de aquisição dos dados, o protótipo permaneceu em operação de segunda-feira até sexta-feira das 14:00 horas até as 20:00 horas.

O monitoramento do comportamento das medições realizadas pelo condicionador de tensão, corrente e potência nas três fases que alimentam as resistências de aquecimento do túnel de encolhimento, foi realizado pelo período de duas semanas. A Figura 44 apresenta o comportamento respectivo das medidas adquiridas pela fase R, no decorrer desse período de aquisição dos dados.

Figura 44: Comportamento das medidas de tensão, corrente e potência extraídas das medições da fase R, semana dos dias 10 à 24 de maio de 2021.

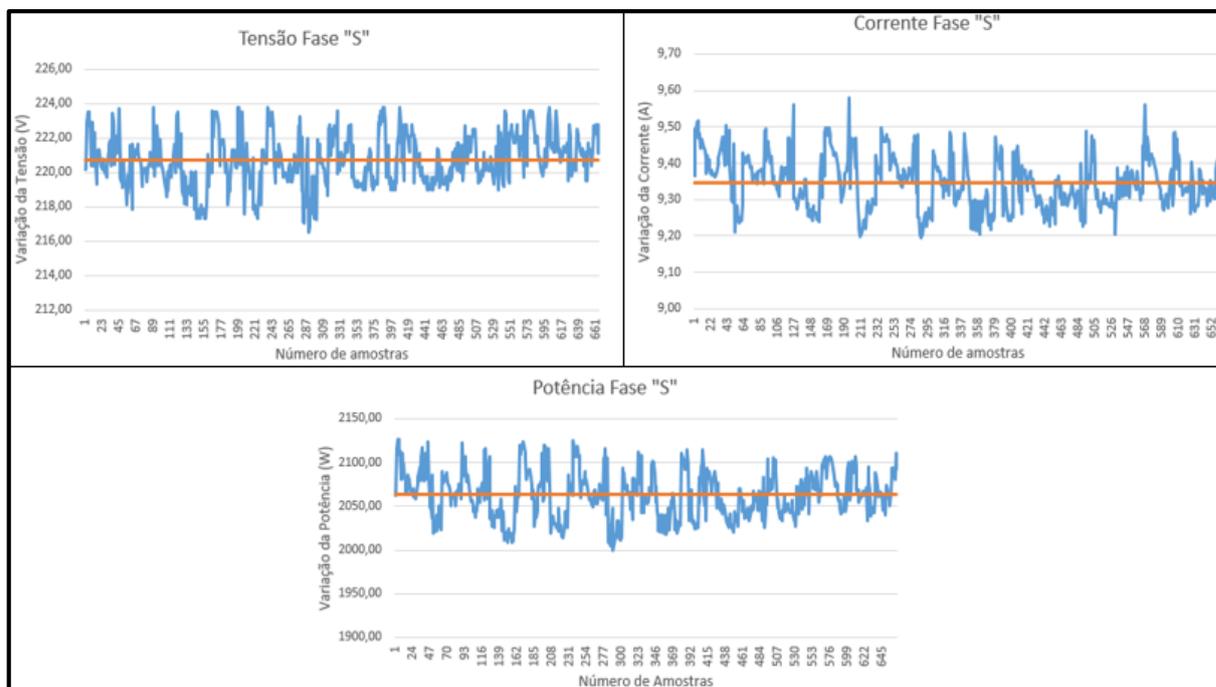


Fonte: O autor (2021).

Figura 44 apresenta o comportamento da Fase R, com valor médio (curva em laranja) durante o período monitorado de 220,36 Volts para a corrente de 9,35 Amperes e potência de 2060,35 Watts.

Na Figura 45 apresenta o comportamento respectivos das medidas adquiridas pela fase S, no decorrer desse período de aquisição dos dados.

Figura 45: Comportamento das medidas de tensão, corrente e potência extraídas das medições da fase S, semana dos dias 10 à 24 de maio de 2021.

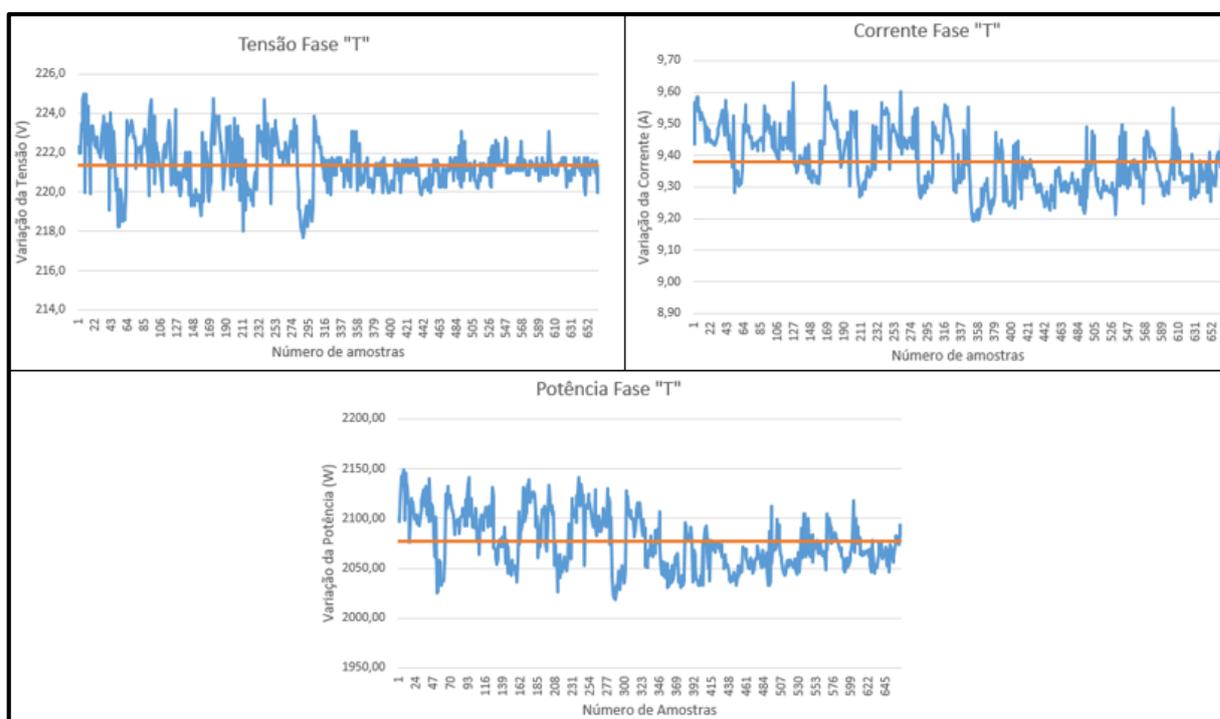


Fonte: O autor (2021).

Figura 45 apresenta o comportamento da Fase S, com valor médio (curva em laranja) durante o período monitorado de 220,71 Volts para a corrente de 9,34 Amperes e potência de 2063,05 Watts.

Por fim, a Figura 46 apresenta o comportamento respectivo das medidas adquiridas pela fase T, no decorrer desse período de aquisição dos dados.

Figura 46: Comportamento das medidas de tensão, corrente e potência extraídas das medições da fase T, semana dos dias 10 à 24 de maio de 2021.



Fonte: O autor (2021).

Figura 46 apresenta o comportamento da Fase T, com valor médio (curva em laranja) durante o período monitorado de 221,38 Volts para a corrente de 9,38 Amperes e potência de 2077,28 Watts.

Com os resultados do monitoramento obtidos das medidas de tensões, correntes e potências, foi possível detectar que ocorreram variações nas medidas. A Tabela 7 apresenta as respectivas variações de tensão, corrente e potência.

Tabela 7: Variação das medidas no decorrer do período de testes.

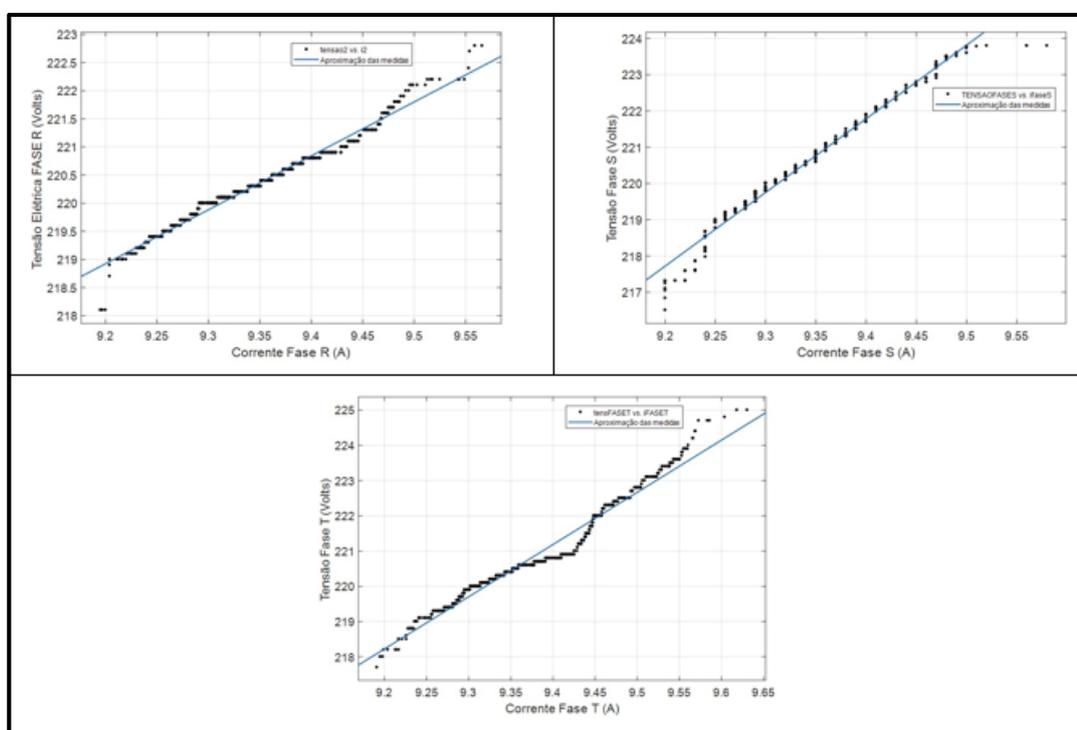
Fase Analisada	Variação Tensão ΔV	Variação de Corrente ΔA	Variação de Potência ΔW
R	4,7	0,37	99,14
S	7,65	0,38	127,34
T	7,3	0,44	127,66

Fonte: O autor (2021).

Considerando o período de monitoramento e os resultados obtidos, pode-se dizer que protótipo comportou-se de maneira adequada. Não foram colhidos alarmes de falha e sendo que os sinais coletados ficaram dentro do esperado.

Para melhor entendimento na linearidade do sistema foram plotados gráficos do sistema. Para tensão e corrente foi realizada uma regressão linear linear simples utilizando a ferramenta “*curve Fitting*” do *Matlab*, referentes ao período de aquisição de dados da tensão pela corrente em ambas as fases conforme apresenta na Figura 47.

Figura 47: Curva de Tensão x Corrente nas fases R, S e T, período de 10 à 24 de maio de 2021.



Fonte: O autor (2021).

Conforme apresenta na Figura 47, pode-se notar que a resistência comportou-se de forma aproximadamente linear, em outras palavras, as mesmas possuem um comportamento estável e equilibrado.

No caso dos dados coletados apresentarem uma curva característica de tensão por corrente elétrica num formato não linear, poderia ser afirmado que algo estaria danificando o comportamento esperado da resistência de aquecimento do túnel.

Caso houvesse alguma intercorrência na questão do comportamento da curva apresentada, pode ser dito que há uma possível falha, assim ocorrendo uma manutenção preventiva no equipamento, ou seja, substituindo o dispositivo por um novo.

5 CONCLUSÕES

O trabalho apresentou a implementação de um sistema de monitoramento de condições de operação de um túnel de encolhimento. O sistema monitora as condições de operação das resistências de aquecimento como tensão, corrente e potência elétrica.

O sistema de comunicação através dos protocolos *Profinet*, OPC-UA e SMTP entre os dispositivos, demonstrou-se estável durante os períodos de aquisição dos dados. Todas as informações adquiridas pelos condicionadores de sinais foram registradas automaticamente no banco de dados desenvolvido, sendo que ficam disponíveis para serem acessados a qualquer momento pelo usuário.

Em relação a funcionalidade da interface gráfica, a apresentação dos dados armazenados, proporciona ao usuário um melhor entendimento das condições de operação e monitoramento dos dados salvos do banco de dados.

Os condicionadores de sinais desenvolvidos e implementados apresentaram resultados satisfatórios. Como o monitoramento dado num período de 14 dias, o protótipo mostrou-se adequado sendo que o comportamento de cada uma das fases respondeu de forma linear e com uma estabilidade.

Para avaliar a questão da vida útil, ou mal funcionamento das resistências do túnel de encolhimento foi realizada uma regressão linear simples através do *Matlab*, a fim de investigar a linearidade da resposta do sistema. Por se tratar de um sistema de resposta estável ao longo do período, não foram identificadas anormalidades.

Os registros dos dados permite uma análise temporal das condições operacionais, facilitando a tomada de uma decisão nos processos de manutenção preditiva ou preventiva, assim pode-se economizar tempo em manutenções corretivas.

Como trabalho futuro no prosseguimento dos testes, tem-se duas situações importantes: primeira é montar o protótipo em ambiente industrial e averiguar novamente os sinais. Segundo, pode-se realizar ensaios com curto circuitos ou condições adversas para realizar uma análise mais precisa na questão da caracterização completo do comportamento das resistências.

REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

ALEXANDER, Charles K; SADIKU Matthew N.O. **Fundamentos de circuitos elétricos com aplicações**. Porto Alegre: Afiliada, 2013.

ALMEIDA, Bruno Guerra; FABRO, Elton. Indústria 4.0 como ferramenta na engenharia de manutenção com base na metodologia TPM. **Revista Scientia Cum Industria**, V. 7, N. 2, 2019, p. 23 – 39.

CITISYSTEMS Transformadores de corrente.
<https://www.citisystems.com.br/transformador-de-corrente/> Acesso em 09 de abr de 2020.

CHAPMAN, S. J. **Fundamentos de Máquinas Elétricas**. Porto Alegre: AMGH, 2013.

COELHO, P. M. N. N. **Rumo à Indústria 4.0**. Coimbra, Portugal: Universidade de Coimbra: 2016. Disponível em: <<https://estudogeral.uc.pt/handle/10316/36992>> Acesso em 27 março 2020.

COSTA, Mariana de Almeida. **Gestão estratégica da manutenção: uma oportunidade para melhorar o resultado operacional**. Juiz de Fora, 2013.

DRUCKER, P. **O futuro já chegou**. Revista Exame, [s.l], v. 8, n. 710, p.12-19, 22 mar. 2020.

DUFF, Matthew. TOWEY, Joseph. **Two ways to Measure Temperature using thermocouples feature simplicity, accuracy, and flexibility**. Georgia, EUA: Analog Devices, 2010.

EUROMAX Indústria de Máquinas Ltda. **Túnel de Encolhimento PE**.
<https://www.euromax.com.br/tunel-encolhimento-pe.php> Acesso em 04 de abr de 2020.

GEISSBAUER, Reinhard; VEDSO, Jesper; SCHRAUF, Stefan. Industry 4.0: **Building the digital enterprise. 2016. PwC**. Disponível em: <<https://www.pwc.com/gx/en/industries/industries-4.0/landing-page/industry-4.0building-your-digital-enterprise-april-2016.pdf>>. Acesso em: 28 março. 2020.

INSTRUMENTS., T. Lmx24, lmx24x, lmx24xx, lm2902, lm2902x, lm2902xx, lm2902xxx quadruple - operational amplifiers. *Texas Instruments.*, 2015. 41.

MARTINS, Geomar Machado. **Princípios de Automação Industrial**, Disponível em: <<https://www.passeidireto.com/arquivo/10831107/apostila-principios-da-automacao-industrial>>. Acesso em: 29 março. 2020.

MEGASERVICE. Partida e Proteção de Motores. Disponível em: <http://msmegaservice.com.br/automacao_industrial_controls.html>. Acessado em: 15/05/2021.

MOKYR, Joel. **The Second Industrial Revolution, 1870 - 1914**. 1988. Disponível em: <<https://pdfs.semanticscholar.org/769c/a06c2ea1ab122e0e2a37099be00e3c11dd52.pdf>>. Acesso em: 24 março. 2020.

NIST, **Definition of Cloud Computing v15**. Disponível em: <<http://csrc.nist.gov/groups/SNS/cloud-computing>> acesso em: 28 março 2020.

NOGUEIRA, Thiago Augusto. **Redes de Comunicação para Sistemas de Automação Industrial**, Disponível em: <http://www.joinville.udesc.br/portal/professores/vieira/materiais/REDES_AUTOMACAO_INDUSTRIAL.pdf>. Acesso em: 30 março. 2020.

OLIVEIRA, Vinicius de Souza Lima. **Protocolo de comunicação Profinet para redes de automação**. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/67807053-Vinicius-de-souza-lima-oliveira.html>>. Acesso em: 30 março. 2020.

RAMOS, F.S.C., SCHURT, E.L, MARTINS, A.P. - **Estudo da viabilidade de automação do processo de brasagem, filtragem e fervura da cervejaria floresta**. Curitiba, 2018.

RECOMMENDATION ITU-T Y.2060. **Overview of the Internet of things**. ITU-T – International Telecommunication Union, 2012.

REIS, Priscila. **Desenvolvimento de dispositivo sem fio para medição de grandezas elétricas para sistemas Google Android**. São Carlos, 2014.

SIEMENS, Vitor. **OPC UA - Arquitetura Unificada de Comunicações de Plataforma Aberta**. Disponível em: https://new.siemens.com/global/en/products/automation/industrial-communication/opc-ua.html?gclid=Cj0KCQjw38-DBhDpARIsADJ3kjrQsCODOr5BF68WXILAAanMt5z2yCM015quWO50LOEvFDtyL9UVE1gaAh6aEALw_wcB. Acesso em: 12 abril. 2021.

SINGER, Talyta. **Tudo conectado: conceitos e representações da internet das coisas**. Simpósio em Tecnologias Digitais e Sociabilidade – Práticas Interacionais em Rede. 2012

VIDALEN, Vitor. **Medidor de corrente e energia com Arduino: Sensor de corrente**. Disponível em: <https://blog.eletrogate.com/medidor-de-corrente-e-energia-com-arduino-sensor-de-corrente-e-tensao/>. Acesso em: 09 abril. 2020.

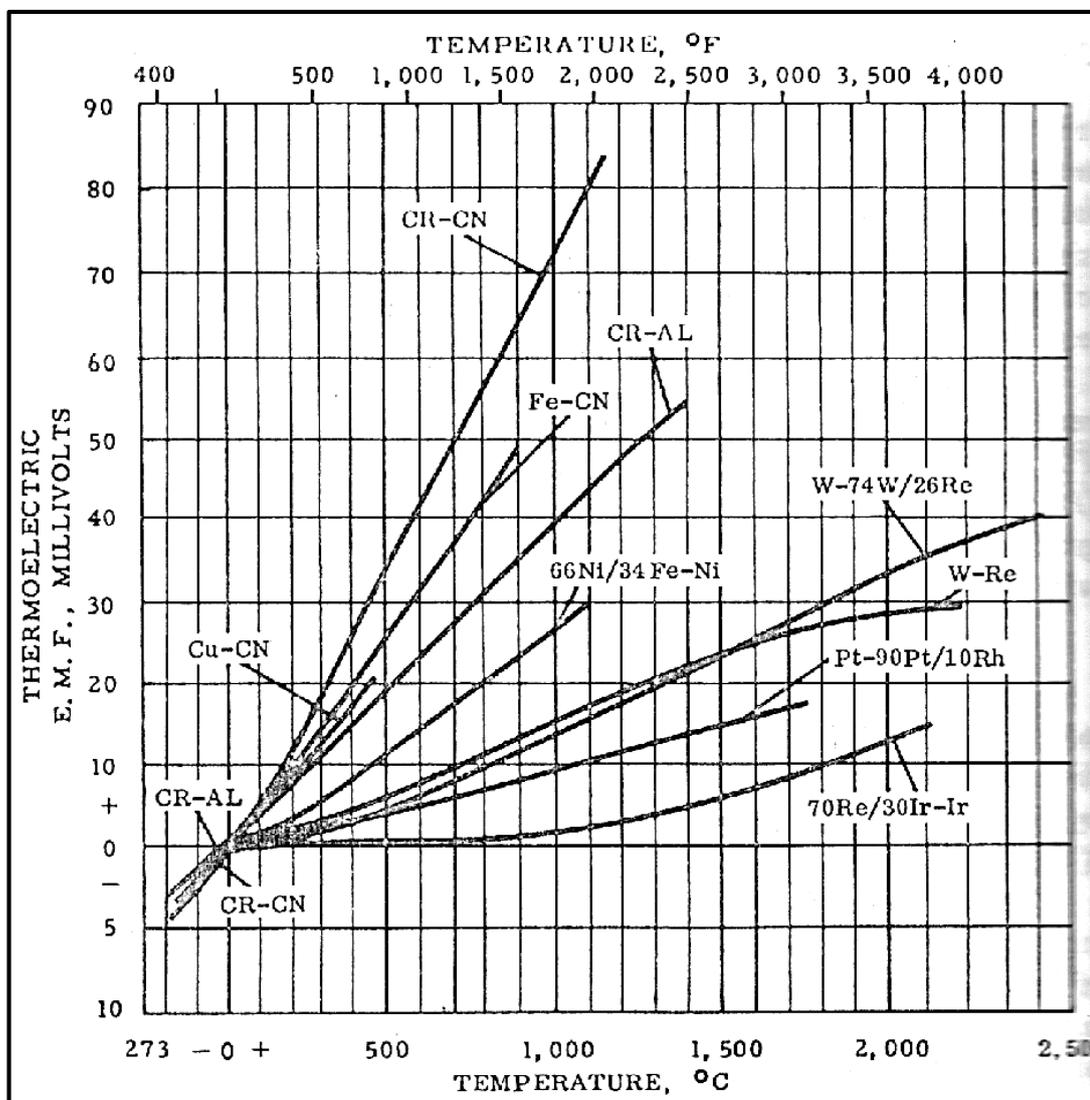
ZAIONS, R. D. **Consolidação da metodologia de manutenção centrada em confiabilidade em uma planta de celulose e papel.** 2003. Dissertação (Programa de Pós- Graduação em Engenharia de Produção) Departamento Acadêmico de Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2003.

ZAMBRANO, A. M.; PEREZ, I.; PALAU, C.; ESTEVE, M. **Technologies of internet of things applied to an Earthquake Early Warning System.** Future Generation Computer Systems, v. 75, p. 206-215, October 2017.

ZUIN, V. G.; ZUIN, A. A. S. **A formação no tempo e no espaço da internet das coisas.** Educação & Sociedade, Campinas, v. 37, n. 136, p.757-773, jul./set. 2016.

ANEXO A

Figura 48: Curva característica termopar.



ANEXO B

Tabela 8: Lista de materiais dos condicionadores de sinais de tensão e corrente.

Componente	Quantidade	Especificação
Transformador de tensão	1	220/15Vac
Transformador de corrente	1	RTC5000
Amplificador Operacional	2	LM324
Resistor	2	220Ω
	14	10KΩ
	4	100KΩ
Diodo	4	1N4148
Diodo Zenner	2	1N4742A
Capacitor	4	10μ
	2	100μ

Fonte: O autor (2021).

ANEXO C

Tabela 9: Medidas de tensão na fase R.

MULTÍMETRO <i>MINIPA</i> MODELO ET-2042 X CONDICIONADOR DE SINAIS										
MULTÍMETRO	CONDICIONADOR DE SINAIS DE TENSÃO – FASE R									
Leitura	Medida 01	Medida 02	Medida 03	Medida 04	Medida 05	Medida 06	Medida 07	Medida 08	Medida 09	Medida 10
10,45	10,11	10,21	10,37	10,15	10,19	10,27	10,38	10,21	10,18	10,25
20,54	19,92	19,22	19,91	20,32	19,25	19,87	20,5	20,21	19,5	20,53
30,45	29,75	29,7	29,78	28,7	29,5	29,45	28,87	29,68	30,1	30,25
40,12	39,56	40,1	38,75	39,85	39,65	40,05	38,95	38,72	39,94	40,19
50,37	49,9	50,01	49,85	50,24	50,2	50,36	49,25	48,92	49,08	50,14
60,24	59,79	59,82	60,1	58,96	60,12	58,96	59,05	59,95	60,13	59,76
80,4	80,01	79,2	80,4	79,65	79,52	80,14	78,24	79	80,18	80,27
80,4	80,01	79,2	80,4	79,65	79,52	80,14	78,24	79	80,18	80,27
120,3	119,59	118,9	120,21	118,39	120,12	118,98	119,02	118,71	120,28	120,29
160,4	159,45	160,05	159,7	160,1	159,5	159,78	159,65	160,12	158,87	160,32
200,4	199,61	200,03	199,87	200,11	199,56	198,87	198,65	200,12	198,74	199,98
220,5	219,25	218,87	220,1	220,65	219,25	218,97	219,63	220,19	219,74	218,94
231	229,66	228,6	229,8	230,5	230,12	228,98	228,68	229,87	230,97	229,83

Fonte: O autor (2021).

Tabela 10: Medidas de tensão na fase S.

MULTÍMETRO <i>MINIPA</i> MODELO ET-2042 X CONDICIONADOR DE SINAIS										
MULTÍMETRO	CONDICIONADOR DE SINAIS DE TENSÃO – FASE S									
Leitura	Medida 01	Medida 02	Medida 03	Medida 04	Medida 05	Medida 06	Medida 07	Medida 08	Medida 09	Medida 10
10,45	10,14	9,98	10,25	9,99	10,21	10,15	10,23	10,29	10,38	10,12
20,54	20,16	20,58	20,54	20,58	19,95	20,51	19,85	19,51	20,5	20,53
30,45	29,98	28,95	30,21	30,35	29,76	28,92	29,7	30,15	28,05	30,13
40,12	39,8	38,98	40,13	40,1	40,1	39,85	40,1	39,84	38,95	40,17
50,37	50,15	49,96	50,14	50,14	50,13	50,24	49,08	49,08	49,29	50,24
60,24	60,24	59,05	59,76	59,76	59,82	58,96	59,82	60,13	59,05	59,76
80,4	80,41	78,29	80,35	80,42	79,29	78,65	79,52	80,16	78,76	79,52
120,3	120,22	119,76	119,79	120,23	118,91	118,43	118,95	120,28	119,87	119,76
120,3	160,3	118,9	120,21	118,39	120,12	118,98	119,02	118,71	120,28	120,29
160,4	200,62	160,05	159,7	160,1	159,5	159,78	159,65	160,12	158,87	160,32
200,4	220,28	200,03	199,87	200,11	199,56	198,87	198,65	200,12	198,74	199,98
220,5	229,3	218,87	220,1	220,65	219,25	218,97	219,63	220,19	219,74	218,94
231	229,3	228,68	229,78	229,89	228,75	230,95	228,67	230,82	228,61	228,67

Fonte: O autor (2021).

Tabela 11: Medidas de tensão na fase T.

MULTÍMETRO <i>MINIPA</i> MODELO ET-2042 X CONDICIONADOR DE SINAIS										
MULTÍMETRO	CONDICIONADOR DE SINAIS DE TENSÃO – FASE T									
Leitura	Medida 01	Medida 02	Medida 03	Medida 04	Medida 05	Medida 06	Medida 07	Medida 08	Medida 09	Medida 10
10,45	10,12	10,29	10,25	10,21	9,98	10,21	10,38	10,21	10,21	10,11
20,54	20,09	19,51	20,53	19,22	20,58	19,95	20,5	20,21	19,22	19,89
30,45	29,93	30,15	30,25	29,7	28,95	29,76	28,05	29,68	29,7	29,98
40,12	39,71	39,84	40,19	40,1	38,98	40,1	38,95	38,72	40,1	38,98
50,37	50,06	49,08	50,14	50,01	49,96	50,13	49,29	48,92	50,01	50,06
60,24	60,01	60,13	59,76	59,82	59,05	59,82	59,05	59,95	59,82	59,05
80,4	80,21	80,16	80,27	79,2	78,29	79,29	78,76	79	79,2	80,27
120,3	120,08	120,28	120,29	118,9	119,76	118,91	119,87	118,71	118,9	119,76
160,4	159,98	158,87	160,32	160,05	159,65	160,05	159,65	160,12	160,05	159,65
200,4	200,15	198,74	199,98	200,03	198,65	200,03	198,65	200,12	200,03	198,74
220,5	220,25	220,18	218,94	218,87	219,62	218,87	219,63	220,19	218,87	219,63
231	229,01	230,82	229,83	228,6	228,68	228,75	228,61	229,87	228,6	228,78

Fonte: O autor (2021).

ANEXO D

Tabela 12: Medidas de corrente na fase R.

MULTÍMETRO <i>MINIPA</i> MODELO ET-2042 X CONDICIONADOR DE SINAIS										
MULTÍMETRO	CONDICIONADOR DE SINAIS DE CORRENTE – FASE R									
Leitura	Medida 01	Medida 02	Medida 03	Medida 04	Medida 05	Medida 06	Medida 07	Medida 08	Medida 09	Medida 10
0,51	0,495	0,489	0,502	0,497	0,505	0,507	0,499	0,487	0,497	0,5
1,1	0,992	0,99	1,01	0,997	0,995	0,987	0,965	1,012	1,09	0,996
1,52	1,493	1,499	1,51	1,518	1,495	1,519	1,489	1,508	1,496	1,519
2,12	1,992	1,998	2,012	2,11	2,108	1,997	1,968	2,12	2,101	1,996
2,54	2,5	2,51	2,532	2,539	2,54	2,524	2,54	2,539	2,509	2,531
3,04	2,98	2,991	3,03	3,033	3,039	3,04	2,996	2,98	3,039	3,025
3,53	3,49	3,525	3,53	3,527	3,508	3,512	3,495	3,527	3,53	3,538
4,07	3,991	4,01	4,052	4,02	4	3,998	3,986	4,015	3,998	4,069
4,51	4,498	4,508	4,499	4,509	4,498	4,485	4,468	4,51	4,509	4,592
5,4	4,991	5,01	4,998	4,987	5,14	5,38	5,256	5,35	5,12	4,998
5,5	5,498	5,495	5,485	5,482	5,496	5,492	5,487	5,5	5,498	5,497
6	5,989	5,986	5,897	5,893	5,992	5,951	5,856	5,891	5,99	5,992

Fonte: O autor (2021).

Tabela 13: Medidas de corrente na fase S.

MULTÍMETRO <i>MINIPA</i> MODELO ET-2042 X CONDICIONADOR DE SINAIS										
MULTÍMETRO	CONDICIONADOR DE SINAIS DE CORRENTE – FASE S									
Leitura	Medida 01	Medida 02	Medida 03	Medida 04	Medida 05	Medida 06	Medida 07	Medida 08	Medida 09	Medida 10
0,51	0,497	0,502	0,487	0,5	0,495	0,499	0,489	0,499	0,515	0,489
1,1	0,956	0,998	1,092	0,992	1,099	0,997	0,996	0,965	1,01	0,992
1,52	1,489	1,469	1,492	1,438	1,497	1,52	1,591	1,498	1,514	1,459
2,12	1,968	2,108	1,985	1,924	1,914	2,119	1,996	1,968	2,12	1,998
2,54	2,535	2,537	2,51	2,53	2,512	2,539	2,531	2,529	2,532	2,515
3,04	2,996	3,039	2,991	2,969	2,89	3,033	3,025	2,996	3,03	2,992
3,53	3,456	3,508	3,525	3,495	3,496	3,527	3,538	3,495	3,53	3,525
4,07	3,988	4,065	4,01	3,986	3,991	4,065	4,069	3,986	4,052	4,01
4,51	4,495	4,485	4,508	4,468	4,498	4,509	4,592	4,468	4,499	4,508
5,4	5,242	5,4	5,019	5,289	4,991	4,987	4,998	5,256	4,998	5,01
5,5	5,48	5,496	5,495	5,487	5,498	5,482	5,497	5,487	5,485	5,495
6	5,865	5,987	5,986	5,856	5,989	5,893	5,992	5,856	5,897	5,986

Fonte: O autor (2021).

Tabela 14: Medidas de corrente na fase T.

MULTÍMETRO <i>MINIPA</i> MODELO ET-2042 X CONDICIONADOR DE SINAIS										
MULTÍMETRO	CONDICIONADOR DE SINAIS DE CORRENTE – FASE T									
Leitura	Medida 01	Medida 02	Medida 03	Medida 04	Medida 05	Medida 06	Medida 07	Medida 08	Medida 09	Medida 10
0,51	0,498	0,492	0,491	0,508	0,495	0,499	0,502	0,497	0,495	0,497
1,1	0,99	0,997	1,09	0,992	0,992	0,997	0,998	1,09	1,099	0,997
1,52	1,482	1,52	1,496	1,438	1,493	1,52	1,469	1,496	1,497	1,518
2,12	1,968	2,119	2,101	1,924	1,992	2,119	2,108	2,101	1,914	2,11
2,54	2,533	2,539	2,509	2,53	2,5	2,539	2,537	2,509	2,512	2,539
3,04	2,999	3,032	3,039	2,969	2,98	3,033	3,039	3,039	2,89	3,033
3,53	3,456	3,527	3,53	3,495	3,49	3,527	3,508	3,53	3,496	3,527
4,07	3,988	4,065	3,998	3,986	3,991	4,065	4,065	3,998	3,991	4,02
4,51	4,495	4,509	4,509	4,468	4,498	4,509	4,485	4,509	4,498	4,509
5,4	5,242	4,987	5,12	5,289	4,991	4,987	5,4	5,12	4,991	4,987
5,5	5,48	5,482	5,498	5,487	5,498	5,482	5,496	5,498	5,498	5,482
6	5,865	5,893	5,99	5,856	5,989	5,893	5,987	5,99	5,989	5,893

Fonte: O autor (2021).

ANEXO E

Figura 49: Multímetro modelo ET-2042.

