# Sistema de Monitoramento para Quadros Elétricos

**Gabriel Gomes da Silva Tellini**[1]
**Matheus Alan de Souza**[2]
**Anderson Soares André**[3]

## Resumo

Este artigo apresenta um protótipo de sistema supervisório remoto para quadros elétricos, que busca oferecer ao usuário um acompanhamento facilitado e preciso do estado de operação do seu equipamento. Atualmente, a implementação de dispositivos nesse modelo de sistema enfrenta desafios significativos. O trabalho não apenas delineia os desafios associados à integração desses equipamentos, mas também fornece uma visão detalhada das ferramentas e procedimentos utilizados no desenvolvimento do protótipo. O uso do microcontrolador ESP32 e a linguagem de programação C++ são explorados como elementos-chave nesse processo. Por fim, o artigo compartilha os resultados da aplicação prática do protótipo destacando as dificuldades encontradas durante a implementação.

**Palavras-Chave:** Protótipo; Sistema Supervisório; ESP32.

[1] Graduando em Engenharia Elétrica pela Unisul. E-mail: gabrieltellini1@gmail.com

[2] Graduando em Engenharia Elétrica pela Unisul. E-mail: matheus.alan.souza@gmail.com

[3] Professo da Unisul. E-mail: anderson.andre@unisul.br

**Abstract**

This article presents a prototype of a remote supervisory system for electrical panels, which seeks to offer the user easy and accurate monitoring of the operating status of their equipment. Currently, the implementation of devices in this system model faces significant challenges. The work not only outlines the challenges associated with the integration of this equipment, but also provides a detailed overview of the tools and procedures used in the development of the prototype. The use of the ESP32 microcontroller and the C++ programming language are explored as key elements in this process. Finally, the article shares the results of the practical application of the prototype, highlighting the difficulties encountered during implementation.

**Keywords:** Prototype; Supervisory System; ESP32.

## 1. Introdução

O avanço contínuo das tecnologias contemporâneas acarreta uma variedade de demandas para solucionar problemas do cotidiano em diversas esferas, tornando cada vez mais presente a adoção de dispositivos com capacidade de comunicação de longo alcance, como as redes WiFi (Mastrocola, 2015). Essa necessidade, intrinsecamente relacionada à evolução tecnológica, pode ser estendida ao contexto dos sistemas de monitoramento de quadros elétricos.

No entanto, é importante destacar que os atuais sistemas disponíveis no mercado apresentam uma barreira significativa para adoção em larga escala, conforme apontado por Maestrelli e Napoleão: "Sistemas disponíveis no mercado atualmente possuem um elevado custo de implementação e poucas funcionalidades, não sendo viáveis para uma difusão em larga escala." (Maestrelli; Napoleão, 2018, p.14). Diante desse cenário, surge a necessidade premente de explorar alternativas mais acessíveis e eficientes, capazes de atender às demandas de monitoramento de quadros elétricos de maneira mais ampla e economicamente viável.

Dentro desse contexto, a presente pesquisa propõe não apenas abordar as limitações existentes, mas também desenvolver soluções inovadoras que possam superar as barreiras de custo e funcionalidade, visando tornar os sistemas de monitoramento de quadros elétricos mais acessíveis e eficazes para uma difusão generalizada. Este trabalho busca, assim, contribuir para a democratização do acesso a tecnologias de monitoramento, promovendo uma transformação positiva no cenário atual e facilitando a implementação desses sistemas em diversos contextos, incluindo ambientes industriais e cotidianos.

O presente estudo visa não apenas a concepção do protótipo, mas também a avaliação aprofundada de sua usabilidade, com foco especial na aplicabilidade cotidiana, especialmente em setores industriais. Nesse sentido, é imperativo conduzir uma análise abrangente do desempenho do equipamento em um ambiente real, discutindo minuciosamente os componentes, linguagens de programação e ferramentas fundamentais para a sua construção.

As seções subsequentes deste artigo detalham essa instalação, fornecendo *insights* valiosos sobre a integração do protótipo no contexto operacional da referida empresa.

## 2. Comando e Monitoramento de Quadros Elétricos

O referencial teórico será dividido em quatro tópicos. O primeiro irá explicar sobre o sistema supervisório, o segundo irá detalhar sobre os principais dispositivos responsáveis pelo o comando de um quadro elétrico, o terceiro tratará sobre o funcionamento da comunicação do protótipo, que se complementa com o quarto que apresenta a finalização do modelo e seus componentes.

### 2.1 Sistema Supervisório

O software classificado como supervisório permite a execução e visualização de qualquer processo residencial, industrial ou comercial, independentemente da escala do projeto (Jurizato; Pereira, 2003). Aliando este sistema a uma comunicação a distância, aumenta-se a possibilidade de usabilidade.

Além disso, Mcdonald (2012) enfatiza que essa solução permite uma análise detalhada do funcionamento dos quadros elétricos, tornando possível identificar oportunidades de melhoria na segurança do ambiente de trabalho (Mcdonald, 2012), destacando a importância do monitoramento a distância de quadros elétricos para a prevenção de acidentes elétricos.

Infelizmente o alto custo destes sistemas supervisórios, tornam ele pouco atrativo ao consumidor final, fazendo-lhe escolher entre comprar e ter mais segurança ou correr o risco.

### 2.2 Circuito de Comando do Quadro Elétrico

Para permitir que o protótipo realizasse a controle dos circuitos presentes no quadro foram utilizados relés que mandavam sinal ao contator (Imagem 01), ambos os equipamentos possuem o mesmo modelo de funcionamento.

Quando a bobina é energizada por uma corrente elétrica, isso gera um campo magnético o qual causa a atração do contato que se movimenta, causando o fechamento do contato (Braga,2017).

**Imagem 01:** Contatores internas do quadro

**Fonte:** Autor (2023).

As ligações entre os relés e os contatores, foram necessárias devido ao protótipo possuir uma alta sensibilidade e trabalhar com uma tensão muito inferior à da rede de distribuição elétrica.

Além disso, foram instalados botões e sinaleiros na parte frontal do quadro onde o protótipo está instalado, pois para verificar se o protótipo estava realmente funcionando caso ocorresse uma falha, era necessário de acionamento manual e a visualização de funcionamento.

**Imagem 02:** Sinaleiros e botões da porta do quadro

**Fonte:** Autor (2023).

## 2.3 Processamento do Software

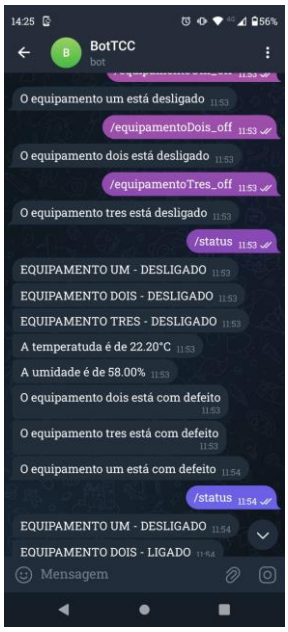
É necessário entender a lógica de funcionamento da comunicação do protótipo, que é o que possibilita a comunicação usuário máquina.

Primeiramente, foi definido a linguagem de programação C++ para a execução da lógica de funcionamento e comunicação microcontrolador e aplicativo, utilizando de

uma IDE (Ambiente de Desenvolvimento Integrado) para inserir a programação do protótipo no microcontrolador.

Em seguida, foi estudado qual seria o aplicativo que poderia realizar a comunicação entre o usuário e o microcontrolador, percebeu-se que o aplicativo de mensagens instantâneas Telegram conseguia satisfazer essa necessidade.

**Imagem 03** - Chat de conversa do Bot do Telegram




**Fonte:** Autor (2023).

Dessa maneira, a lógica implementada é de que o usuário irá mandar uma mensagem pelo Telegram para um Bot, a qual será encaminhada até o protótipo através da rede de WiFi e ele deverá verificar se o usuário está cadastrado e se o comando enviado já existe. Caso um dos eventos for falso, o protótipo seguirá a espera de uma ordem correta. Entretanto, quando um comando já existente for enviado por usuário cadastrado, o protótipo irá executá-lo conforme a sua programação. Além disso, em caso de defeito ou aumento de temperatura será enviado automaticamente um alerta ao usuário através do Telegram.

Em resumo, o sistema utiliza o Telegram como uma interface de comunicação para o usuário cadastrado conseguir controlar a longa distância, através de comandos pré-setados.

## 2.4 Controlador e Monitoramento a Distância (C.M.D)

No início da ideia do protótipo, foi verificado qual microcontrolador poderia realizar o controle e comunicação, tendo a capacidade de processo que se adequasse a necessidade. Entre as opções, o ESP32 (Imagem 04) foi o que apresentou o melhor custo benefício, pois é um microcontrolador que possui o módulo de comunicação Wifi e Bluetooth integrado, aliado a um poder computacional alto, operação em baixo nível de tensão e hardwares dedicados à segurança do seu microcontrolador (Bertoleti, 2019).

**Imagem 04** - Microcontrolador ESP32

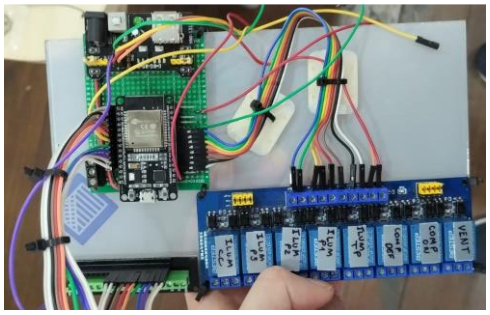
**Fonte:** Oliveira (2023)

Além das vantagens do hardware, o ESP32 também tem a possibilidade de usar a ferramenta do IDE Arduino para a sua programação, tornando a sua utilização mais fácil, já que essa ferramenta de programação é muito popular e difundida hoje em dia.(Oliveira,2021)

Uma vez verificado que o ESP32 é um dispositivo configurável, foi efetuada a programação e embarcada no mesmo para que, com o auxílio do módulo de Wifi integrado, realize o enlace, possibilitando monitorar o funcionamento a distância. Porém, ainda assim foi necessário acoplar um drive de relés ao sistema a fim de permitir chavear circuito em corrente alternada sem danificar a integridade do controlador, pelo fato de que opera em 3,3V e suas entradas e saídas são extremamente sensíveis a surtos de tensão.

Foi adicionado também Módulo Sensor de Umidade e Temperatura DHT11, que converte a leitura do sensor de Temperatura e Umidade em sinais analógicos, possibilitando que o ESP32 absorva e administre a proteção do sistema caso haja alguma anormalidade, conforme a imagem 05.

**Imagem 05** - Protótipo



**Fonte:** Autor (2023).

Abaixo é possível conferir a pinagem das entradas e saídas utilizadas do ESP32:

Portas configuradas como Saídas Digitais:

- D15 - Aciona o Relé 1 para ligar o Equipamento 1;
- D2 - Aciona o Relé 2 para desligar o Equipamento 1;
- D4 - Aciona o Relé 3 para ligar o Equipamento 2;
- RX2 - Aciona o Relé 4 para desligar o Equipamento 2;
- TX2 - Aciona o Relé 5 para ligar o Equipamento 3;
- D5 - Acionar o Relé 6 para desligar o Equipamento 3;
- D18 - Aciona diretamente o Buzzer 3V que indica falha do sistema;
- D19 - Aciona diretamente o LED Verde que indica sistema operante;
- D21 - Aciona diretamente o LED Vermelho que indica sistema inoperante;

Portas configuradas como Entradas Digitais:

- D12 - Leitura de sinal 3,3V que passa pelo contato auxiliar normalmente aberto do Contator 1 que indica “EQUIPAMENTO 1 LIGADO”;
- D14 - Leitura de sinal 3,3V que passa pelo contato auxiliar normalmente aberto do Contator 2 que indica “EQUIPAMENTO 2 LIGADO”;
- D27 - Leitura de sinal 3,3V que passa pelo contato auxiliar normalmente aberto do Contator 3 que indica “EQUIPAMENTO 3 LIGADO”;
- D26 - Leitura de sinal 3,3V que passa pelo contato auxiliar normalmente fechado do Disjuntor 1 que indica “EQUIPAMENTO 1 COM DEFEITO”;
- D25 - Leitura de sinal 3,3V que passa pelo contato auxiliar normalmente fechado do Disjuntor 2 que indica “EQUIPAMENTO 2 COM DEFEITO”;
- D33 - Leitura de sinal 3,3V que passa pelo contato auxiliar normalmente fechado do Disjuntor 3 que indica “EQUIPAMENTO 3 COM DEFEITO”;
- D32 - Leitura de sinal 3,3V que passa pelo contato normalmente aberto do botão com a função de silenciar temporariamente o alarme de falha;

- (OPCIONAL) D23 - Leitura de sinal 3,3V que passa pelo contato auxiliar normalmente fechado do Disjuntor Geral que indica “SISTEMA SEM ENERGIA” (esta função irá operar apenas se for utilizado fonte com bateria acoplada, para manter o sistema funcionando em caso de perda de energia);
- D22 - Leitura de sinal 3,3V que pode ser fechado para resetar padrões de fábrica;

Porta configurada como Entradas Analógica:

- D13 - Leitura de sinal analógico do Módulo Sensor de Umidade e Temperatura DHT11;

No próximo tópico serão apresentados a metodologia de como foi desenvolvido o artigo para a criação do protótipo.

## 3. Metodologia

Dado que a coleta de dados se realiza por meio da observação e a pesquisa é classificada como qualitativa, destaca-se a maneira como as anotações dos resultados foram elaboradas para a realização do *As-Built* (Como Projetado). Isso qualifica o processo como uma observação de natureza qualitativa, conforme definido por Creswell (2010):

> [...] são aquelas em que o pesquisador faz anotações de campo sobre o comportamento e as atividades dos indivíduos no local de pesquisa. Nessas anotações de campo, o pesquisador registra, de uma maneira não estruturada ou semi estruturada (usando algumas questões anteriores que o investigador quer saber), as atividades no local da pesquisa. (CRESWELL, 2010, p. 214).

Para complementar as anotações, foram adicionados também os *feedbacks* fornecidos sobre o protótipo, trazendo consigo informações de melhorias ou resoluções de *bugs*. Os resultados obtidos serão apresentados no próximo tópico.

## 4. Resultados e Discussão

Considerando que o protótipo possui uma lógica simples, salientada no tópico 2.3 desta pesquisa, ainda houve algumas dificuldades enfrentadas. Primeiramente com o modelo de comunicação inicialmente escolhido, que foi a comunicação através de SimCards, entretanto por não estar homologado nacionalmente não foi possível utilizar. Partindo para a segunda opção, utilizando da própria comunicação já existente no ESP32, o WiFi, aliado ao Telegram, criando assim uma lógica a ser aplicada na programação.

O segundo obstáculo foi a alimentação do protótipo, pois o mesmo apresenta a necessidade de 3,3V de tensão e uma corrente variável, podendo atingir até 2A, dependendo da sua utilização, causando a dificuldade de encontrar uma fonte que satisfizesse esses requisitos. Mas, através da compra de um alimentador de protoboard, o qual apresentava tensões de 3,3V na sua saída, o problema foi resolvido.

De modo geral, o protótipo demonstrou eficiência, entretanto suas limitações de portas e funções que podem ser aplicadas causam um grande defeito, além de ser um equipamento extremamente sensível, podendo ter graves dificuldades quando expostos a situações extremas, como alta temperatura ou corrente excessiva.

Existe também outro aspecto que pode ser levado em conta, o usuário. Foi notado que muitas vezes por um sinal de internet mais fraco o protótipo apresenta uma certa lentidão para a resposta final, isto não seria um problema grave, já que o intuito deste equipamento não é para ser inserido em quadros emergenciais e sim de comando simples, porém o usuário final geralmente apresenta impaciência e começa a enviar diversos comando sem parar, sobrecarregando o sistema e executando diversas tarefas desnecessárias.

De todo modo, apesar destes obstáculos, o protótipo funcionou corretamente, demonstrando uma grande gama de aplicabilidades as quais nem tinham sido pensadas no início da pesquisa.

## 5. Considerações Finais

Nas considerações finais deste artigo, destacamos o êxito na elaboração do protótipo de um sistema supervisório que, em última análise, operou de acordo com o planejado. No entanto, é importante ressaltar que este processo não esteve isento de desafios. A programação do sistema provou ser uma tarefa árdua, exigindo esforços consideráveis para garantir seu funcionamento normal.

Dois pontos críticos merecem atenção especial, o primeiro diz respeito à confiabilidade do sinal de internet, que muitas vezes se revelou instável e afetou o desempenho do sistema, o segundo desafio envolveu a entrada de sinais analógicos e digitais, cuja integração também apresentou obstáculos que exigiram soluções criativas.

Focando no resultado, ao considerar o tempo de resposta e a confiabilidade do sistema, pode-se afirmar que o protótipo, quando acoplado ao quadro de comando, superou as expectativas. Seu desempenho consistente e satisfatório demonstrou a eficácia da abordagem adotada, reforçando a importância do investimento na resolução dos desafios enfrentados.

Em resumo, a jornada de desenvolvimento deste sistema supervisório mostrou-se desafiadora, mas recompensadora, os obstáculos superados e os resultados alcançados destacam a importância da perseverança e da busca constante por soluções inovadoras.

Este protótipo representa um passo significativo em direção à excelência na automação e controle de processos, oferecendo lições valiosas para futuros projetos com objetivo no funcionamento eficiente com baixo custo e oportunidades de aprimoramento contínuo.

## Referências

ARDUINO. **Overview of the Arduino IDE 1**. Disponível em: <https://docs.arduino.cc/software/ide-v1/tutorials/Environment>. Acesso em: 24 out. 2023.

BERTOLETI, Pedro. **Projetos com ESP32 e LoRA**. São Paulo: Instituto Newton C. Braga, 2019. 208 p.

BRAGA, Newton C.. **RELÉS:** circuitos e aplicações. São Paulo: Newton C. Braga, 2017. 160 p.

CRESWELL, John W.. **Projeto de pesquisa:** métodos qualitativo, quantitativo e misto. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010. 296 p.

JURIZATO, L. A.; PEREIRA, P. S. R. **Sistemas supervisórios orientados a objetos.** Nova odessa, network Technologies, 2003. Disponível em: <http://centralmat.com.br/Artigos/Mais/sistemasSupervisorios.pdf>. Acesso em: 25 de outubro de 2023.

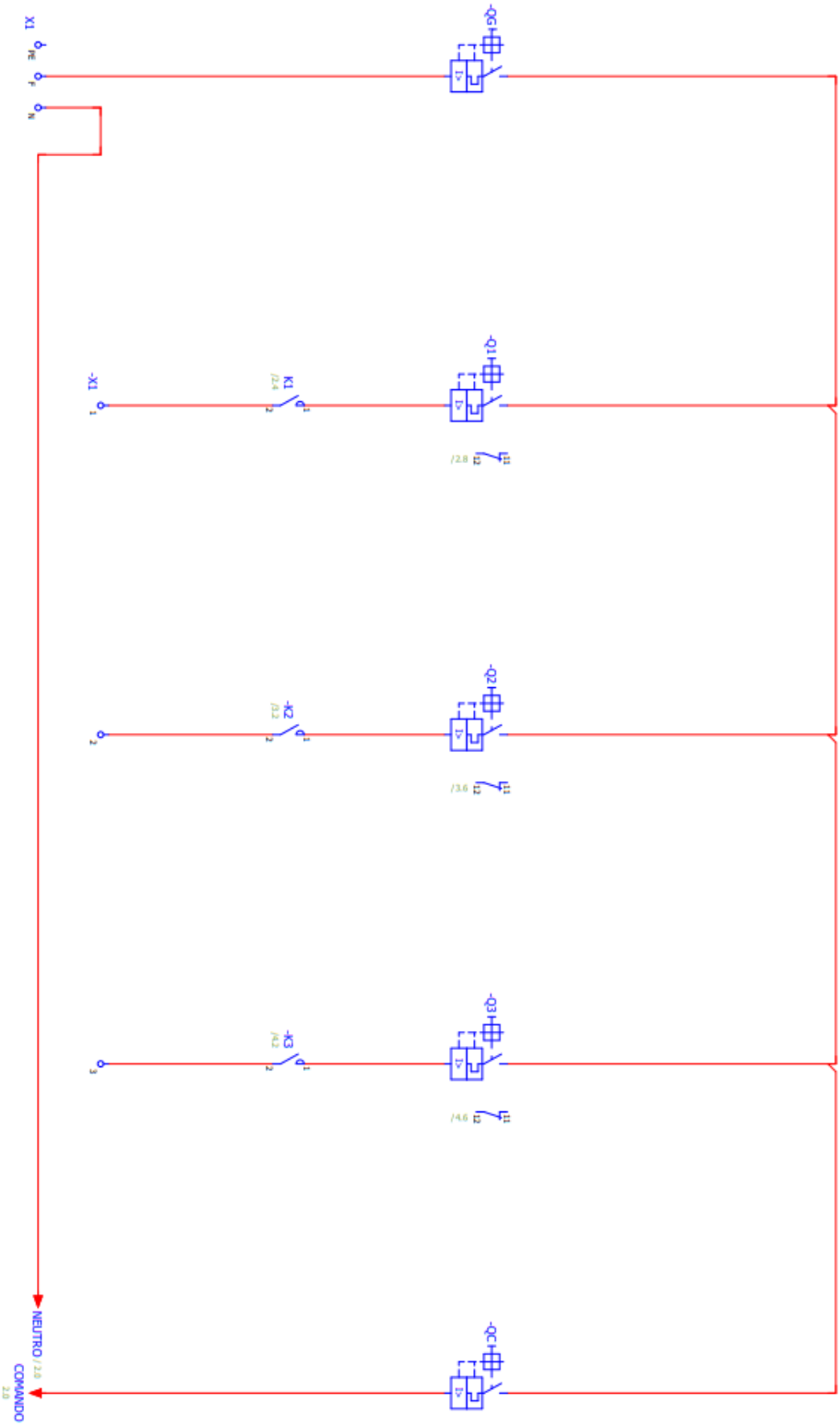
MASTROCOLA, Vicente Martin; G. S. CASTRO, Gisela. **Comunicação e consumo nas wearable technologie**s. Revista GEMInIS, [S.l.], v. 6, n. 2, p. 130-147, dez. 2015;

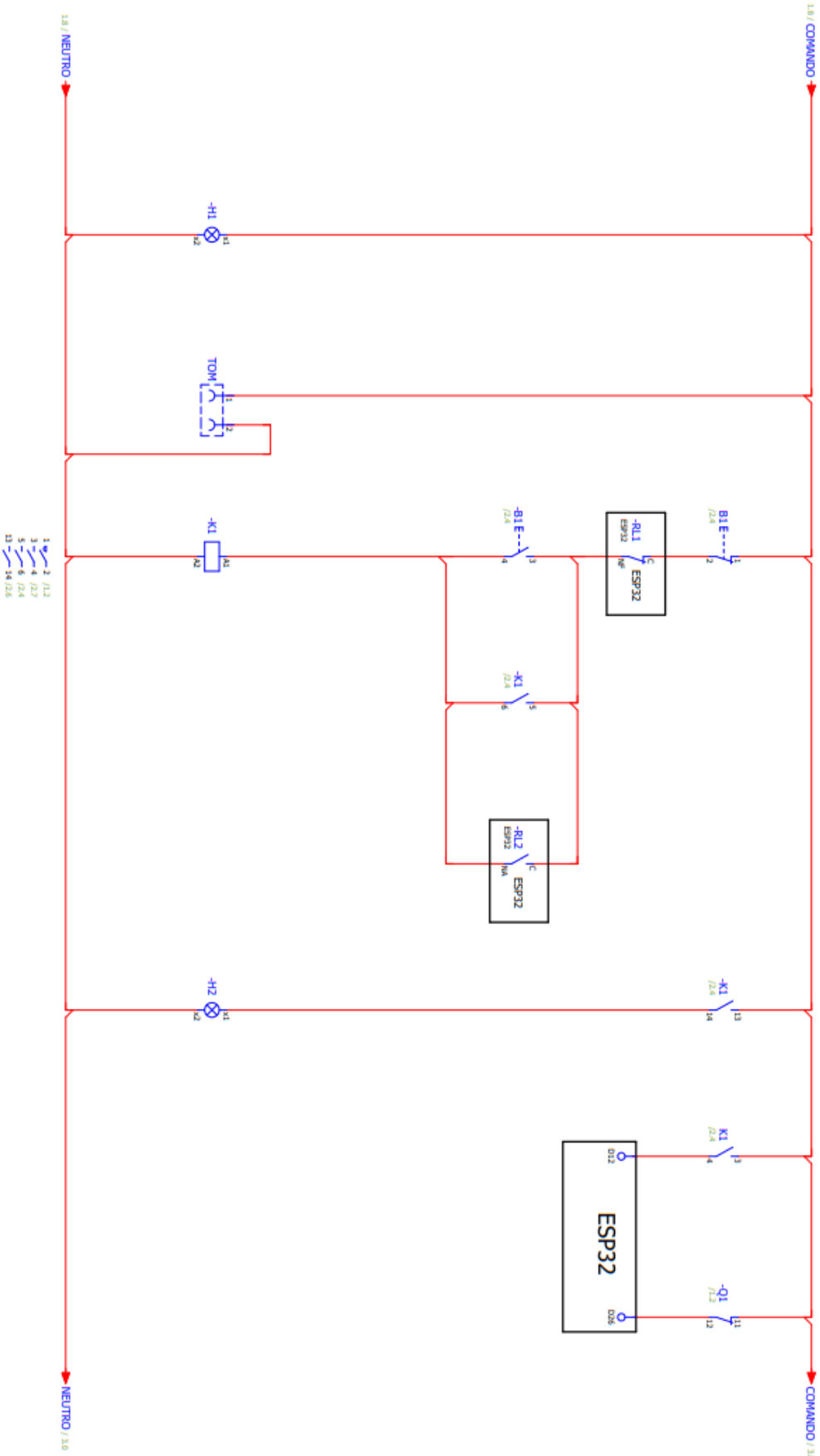
MAESTRELLI, Giovani Andrey; NAPOLEÃO, Guilherme Szemczak. **Sistema Supervisório Para Monitoramento De Energia Elétrica Residencial**. 2018. 95 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Acadêmico de Eletrotécnica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2018. Disponível em: <https://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/10124/1/CT_COELE_2018_1_14.pdf>. Acesso em: 24 out. 2023.

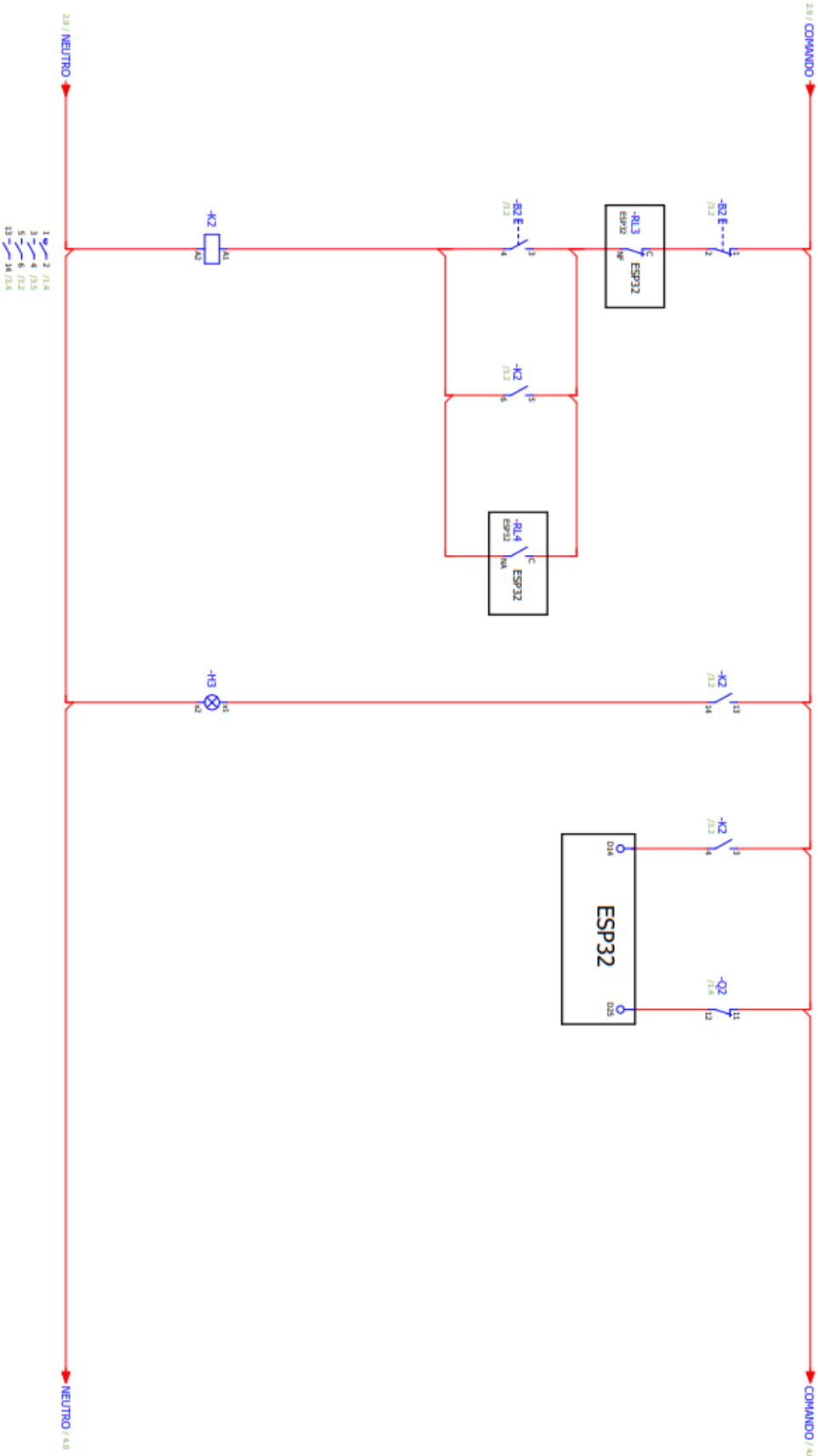
MCDONALD, John D.. **Electric Power Substations Engineering**. 3. ed. Boca Ratom: Crc Press, 2012. 536 p.

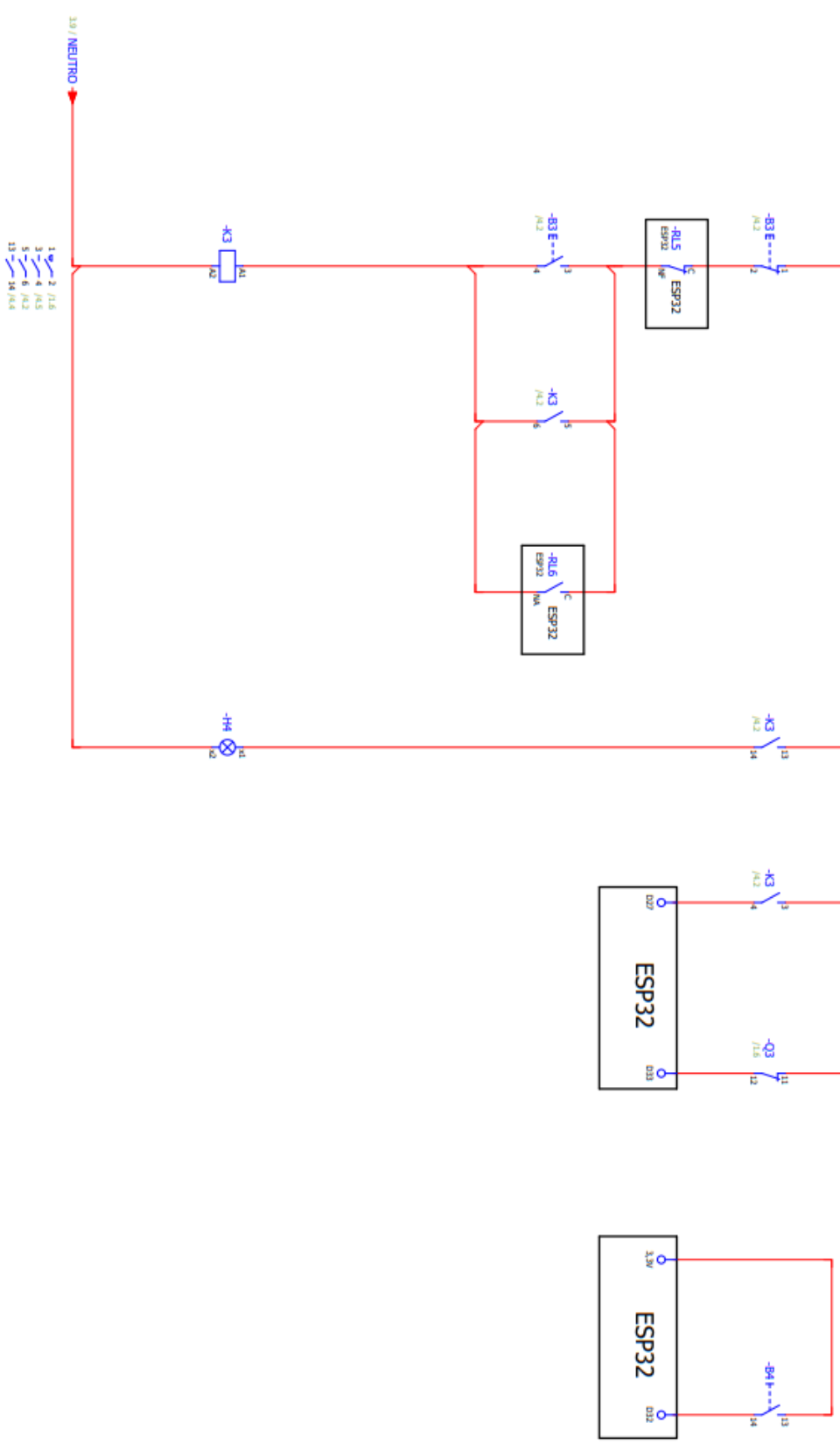
OLIVEIRA, Sérgio . **Internet das Coisas:** com esp8266, arduino, e raspberry pi. 2. ed. São Paulo: Novatec Editora Ltda., 2021. 311 p.

## Anexo A


X1
PE
F
N
-Q0
-X1
1
-K1
/2.4
2
1
-Q1
/2.8
2
1
2
-K2
/3.2
2
1
-Q2
/3.6
2
1
3
-K3
/4.2
2
1
-Q3
/4.6
2
1
-Q0
NEUTRO /2.8
COMANDO
2.0


1.8 / COMANDO
1.8 / NEUTRO
-H1
TOM
-K1
-B1 E
-RL1
ESP32
-K1
-RL2
ESP32
-H2
-K1
K1
ESP32
-Q1
COMANDO / 3.0
NEUTRO / 3.0


COMANDO
-B2 E
-RL3
ESP32
-B2 E
-K2
-RL4
ESP32
-K2
-K2
-K2
-Q2
ESP32
-K2
-H3
NEUTRO
NEUTRO
COMANDO


3.0 / COMANDO
3.0 / NEUTRO
-B3 E---
/A2
-RL5
ESP32
C
NF
ESP32
-B3 E---
/A2
-K3
/A2
-RL6
ESP32
C
NA
ESP32
-K3
A1
A2
-H4
-K3
/A2
-K3
/A2
-Q3
/7.6
ESP32
D27
D33
-B4 A---
ESP32
3.3V
D32