

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

RENATO BAIO SAITO CHIARI

BANCADA DIDÁTICA PARA ACIONAMENTOS ELÉTRICOS

**APUCARANA
2023**

RENATO BAILO SAITO CHIARI

BANCADA DIDÁTICA PARA ACIONAMENTOS ELÉTRICOS

Didactic bench for electric drives

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Carlos Matheus Rodrigues de Oliveira

**APUCARANA
2023**



4.0 Internacional

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

RENATO BAILO SAITO CHIARI

BANCADA DIDÁTICA PARA ACIONAMENTOS ELÉTRICOS

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Elétrica da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
(UTFPR).

Data de aprovação: 13/junho/2022

Rodrigo Aparecido Fernandes Pereira
Doutor em Engenharia Elétrica
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Rogério Marcos Da Silva
Doutor em Engenharia Elétrica
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Carlos Matheus Rodrigues de Oliveira
Doutor em Engenharia Elétrica
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dedico este trabalho à minha avó e à minha mãe que são meus alicerces, e a toda minha família que com muito amor sempre me incentivaram.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a instituição de ensino UTFPR-AP, essencial no meu processo de formação profissional, pela dedicação e por tudo o que aprendi ao longo dos anos do curso.

Agradeço ao professor Carlos Matheus Rodrigues de Oliveira, por ter sido meu orientador e ter desempenhado tal função com dedicação e amizade.

Agradeço aos meus familiares, que me incentivaram nos momentos difíceis e compreenderam a minha ausência enquanto eu me dedicava à realização deste trabalho.

Agradeço à minha namorada Andreia Gonçalves da Silva, com quem convivi durante os últimos anos, pelo companheirismo e pela troca de experiências que me permitiram crescer não só como pessoa mas também como formando.

Agradeço a todos os meus amigos, especialmente Alisson Brabo, Renato Padrini Careli e Thales Augusto. Quero registrar aqui, a importância que tiveram para eu atingir o meu objetivo de me graduar, seja com uma palavra amiga, um conselho e muitas vezes informações técnicas. Muito obrigado!

Por fim, agradeço aos meus colegas de turma, por compartilharem comigo tantos momentos de descobertas e aprendizado e por todo o companheirismo ao longo deste percurso.

*Desenvolver força, coragem e paz interior demanda tempo. Não espere resultados rápidos e imediatos, sob o pretexto de que decidiu mudar. Cada ação que você executa permite que essa decisão se torne efetiva dentro de seu coração.
Lama (2002)*

RESUMO

Dentre as atuações do engenheiro eletricista pode-se citar vertentes relacionadas a atividade em ambiente industrial como projeto, instalação e manutenção de plantas elétricas industriais. Para que o serviço prestado pelo profissional desta área seja seguro, duradouro e economicamente viável, é essencial que este esteja atualizado quanto aos equipamentos disponíveis no mercado e familiarizado com máquinas elétricas, comandos elétricos e normas vigentes. Além deste conhecimento sobre os componentes contidos dentro de um painel elétrico de acionamento, é exigido que o responsável tenha a experiência com as falhas elétricas que podem ocorrer durante o acionamento de máquinas elétricas, a fim de garantir confiabilidade e robustez em seus projetos e instalações elétricas. Desta maneira, o profissional deve ser capaz de solucionar e adequar o sistema perante diversas situações adversas de falhas elétricas. Dentro deste contexto, o trabalho tem o objetivo apresentar a proposta de uma nova bancada didática ao formando de engenharia elétrica, que aproxime o discente da realidade industrial em painéis elétricos envolvendo falhas em circuitos de acionamentos elétricos. A bancada didática será baseada em um painel elétrico que visa emular defeitos técnicos geralmente encontrados em ambientes industriais, como curto-circuito, desbalanceamento de tensão, mau contato, subtensão, sobretensão, sobrecorrente, alteração na sequência de fase e possíveis falhas no comando elétrico. Para tanto, a bancada será constituída por um painel, contendo componentes de força, controle e proteção que atuam nas máquinas elétricas em que o discente terá contato. Além dos equipamentos de força que acionam as máquinas, há também os componentes de controle de falhas, assim, o objetivo é que via *smartphone* o docente atue no comando elétrico das máquinas, gerando os erros. A placa de circuito eletrônico foi produzida e testada conforme as necessidades de aplicação dentro da bancada, conectando-se via aplicativo com o celular, fator que torna mais tangível o projeto como um todo. Portanto, com o projeto desta bancada, placa eletrônica implementada e uso pelos professores, tem-se a capacidade de proporcionar uma aprendizagem ao aluno que seja satisfatória, condizente com a realidade de manutenção industrial em que os engenheiros eletricistas podem atuar, melhorando, sobretudo, o processo de ensino aprendizagem no curso de engenharia elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Apucarana.

Palavras-chave: Acionamento Elétrico Industrial; ESP32; Falhas Elétricas; Painel Elétrico com Falha.

ABSTRACT

Among the activities of the electrical engineer, aspects related to activity in an industrial environment can be mentioned, such as design, installation and maintenance of industrial electrical plants. For the service provided by professionals in this area to be safe, lasting and economically viable, it is essential that they are up to date with the equipment available on the market and familiar with electrical machines, electrical commands and current regulations. In addition to this knowledge about the components contained within an electrical drive panel, it is required that the person in charge has experience with the electrical failures that may occur during the activation of electrical machines to ensure reliability and robustness in their electrical projects and installations. In this way, the professional must be able to solve and adapt the system to different adverse situations of electrical failures. Within this context, the work aims to improve the professional training of electrical engineers with a proposal for a didactic bench that brings the student closer to the industrial reality in electrical panels involving faults in electrical drive circuits. The didactic bench will be based on an electrical panel that aims to emulate technical defects usually found in industrial environments, such as short circuit, voltage imbalance, bad contact, undervoltage, overvoltage, overcurrent, alteration in the phase sequence and possible failures in the electrical command. For that, the bench will be constituted by a panel, containing components of power, control and protection that act in the electrical machines in which the student will have contact. In addition to the power equipment that drives the machines, there are also fault control components, so the goal is for the teacher to act on the electrical control of the machines with *smartphone*, generating errors. The electronic circuit board was produced and tested according to the application needs within the bench, connecting via application with the cell phone, a factor that makes the project as a whole more tangible. Therefore, with the project of this workbench, electronic board implemented and used by teachers, there is the ability to provide a satisfactory learning to the student, consistent with the reality of industrial maintenance in which electrical engineers can work, improving above all the process of teaching and learning in the electrical engineering course at the Federal Technological University of Paraná - Campus Apucarana.

Keywords: Industrial Electrical Drive; ESP32; Electrical Failures; Electrical Panel with Failure.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Justificativa	13
1.2	Relevância	14
1.3	Objetivos	14
2	DISPOSITIVOS ENVOLVIDOS NO ACIONAMENTO DE MÁQUINAS ELÉTRICAS	16
2.1	Disjuntor motor	16
2.2	Fusível	16
2.3	Relé térmico	17
2.4	Mini disjuntor (din)	18
2.5	Contator de potência	18
2.6	Soft-starter	19
2.7	Inversor de frequência	19
2.8	Relé de interface/auxiliar	19
2.9	Relé temporizador	20
2.10	Relé de estado sólido	20
2.11	Botoeira e chave seletora	20
2.12	Sinaleiros e ihm	21
2.13	Fontes cc e transformadores	21
2.14	Clp	21
3	FALHAS ELÉTRICAS NO ACIONAMENTO E CONTROLE DE MÁQUINAS ELÉTRICAS	23
3.1	Sobrecarga	23
3.2	Sobretensão	25
3.3	Subtensão	26
3.4	Falta de fase	27
3.5	Falhas no comando elétrico	27
3.6	Arco elétrico	28
3.7	Curto-circuito	28
3.8	Falhas gerais nos dispositivos de comando e força	29
4	BANCADA DIDÁTICA EXPERIMENTAL VOLTADA AO ENSINO	31
4.1	Metodologia de ensino em práticas laboratoriais	31
4.2	Bancada experimental de falhas	32
5	PROJETO DA BANCADA DIDÁTICA	36
5.1	Projeto de força e comando dos acionamentos	38
5.1.1	Circuito 1	43

5.1.2	Circuito 2	43
5.1.3	Circuito 3	43
5.1.4	Circuito 4	44
5.1.5	Circuito 5	44
5.1.6	Circuito 6a, 6c e 6d	44
5.1.7	Circuito 6b	45
5.1.8	Circuito 7	45
5.2	Projeto da placa eletroeletrônica contendo a esp32	46
5.2.1	Placa de condicionamento da esp32	49
5.2.2	Placa de relés auxiliares de acionamento	49
6	DIMENSIONAMENTO DOS COMPONENTES DA BANCADA	51
6.1	Contatores de partida da máquina 2	51
6.2	Inversor e resistor de frenagem	53
6.3	Freio por corrente contínua	53
6.4	Resistor de aquecimento	54
6.5	Dimensionamento dos cabos	55
7	ORÇAMENTO	56
8	DESENVOLVIMENTO DO PROJETO ELÉTRICO E PROGRAMAÇÃO DA ESP32	57
8.1	Projeção do painel	57
8.2	Execução do projeto das placas eletrônicas	57
8.2.1	Desenvolvimento esquemático do circuito impresso	58
8.2.2	Confecção das placas	62
8.3	Processos para inicialização do módulo wifi e conexão com a esp32	66
8.4	Resultados práticos	69
9	ROTEIROS PRÁTICOS DE UTILIZAÇÃO DA BANCADA	72
9.1	Prática - sobrecarga	72
9.2	Prática - abertura de comando via fotocélula	72
9.3	Prática - perda da referência de velocidade	73
9.4	Prática - subtensão na bobina do contator k1	73
9.5	Prática - simulação de falta de fase	74
9.6	Prática - controle de temperatura	74
9.7	Prática - avaliação de conhecimento sobre máquinas	75
10	CONSIDERAÇÕES FINAIS	77
	REFERÊNCIAS	78
	APÊNDICE A ORÇAMENTOS	81
	APÊNDICE B DESENHOS 3D DO PAINEL ELÉTRICO	87
	APÊNDICE C MÉTODO FOTOSSENSÍVEL PARA CONFECÇÃO DE PLACAS	90

1 INTRODUÇÃO

O engenheiro eletricista pode atuar em diversos segmentos profissionais, sendo que a atuação em ambiente industrial é uma das áreas de maior complexidade e em muitos casos de alta periculosidade, o que demanda experiência e atenção redobrada, vez que qualquer falha elétrica pode ocasionar acidentes em grandes proporções, inclusive com vítimas. Assim, os bacharéis em engenharia elétrica que pretendem atuar no campo de instalações elétricas industriais, devem se preparar desde a universidade, visto que os projetos desenvolvidos nessa área impactarão na vida de todos os envolvidos.

Nessa perspectiva, o engenheiro deve antever as falhas, com objetivo de manutenção preventiva e, ainda, estar preparado para resolver os erros não previstos anteriormente, em situações que o sistema não tem capacidade de suportar ou diante de negligência humana. Acerca deste tema, Mamede Filho (2018) determina que os dispositivos de proteção das instalações elétricas devem, em caso de situações adversas já previstas, permitir o desligamento de todo o circuito.

Ainda segundo Mamede Filho (2018), em discrepantes situações, os equipamentos e condutores de um sistema de instalação industrial de baixa tensão são submetidos a tensões e correntes maiores do que especificado em projeto. Essas situações adversas normalmente são geradas devido ao excesso de carga que os componentes da instalação acionam, curto-circuito, subtensões e sobretensões em que os mesmos estão expostos. Ressalta-se, ainda, que essas faltas devem ser limitadas em tempo de duração e módulo pelos componentes de proteção, contidos nos painéis elétricos.

A primeira etapa, que envolve a implementação de um sistema de acionamento e comando elétrico industrial, está no projeto do sistema em questão. Neste quesito, Mamede Filho (2018) define a primeira etapa do projeto elétrico industrial como planejamento. Esta fase consiste em conhecer os dados técnicos disponíveis das máquinas no que se refere à carga e condições operacionais e, para executá-la, o projetista deve ter todas as plantas do sistema em mãos. O projeto deve conter o respaldo da concessionária vigente, obtendo informações sobre os requisitos normativos que a mesma estabelece.

O primeiro estágio do projeto se dá pelo levantamento da carga total instalada, como por exemplo o contexto em que a partida de motores elétricos está envolvida. Mamede Filho (2018) aponta que para se determinar os dispositivos de acionamento e seus elementos de proteção, é necessário ter um conhecimento prévio das condições da rede durante a partida dos motores.

Diferente do dimensionamento de cargas prediais, que possuem os fatores de demanda já estabelecidos, os painéis elétricos de acionamentos industriais com máquinas elétricas rotativas não possuem componentes com valores tabelados de demanda, logo, se faz necessário uma análise mais complexa da carga elétrica envolvida e até mesmo uma verificação mais precisa da carga mecânica que o motor elétrico irá acionar.

Após o levantamento da carga ter sido feito, Mamede Filho (2018) dispõe que é necessário calcular o fator de potência da instalação e verificar a necessidade de correção, dimensionar os cabos e proteções se fazendo o uso de cálculos de queda de tensão e curto-circuito e por fim determinar os dispositivos de proteção e comando. Dentre os tipos de partida, Carvalho (2020), aponta como principais a partida direta de motores, partida estrela/triângulo, partida por *soft-starter*, partida por inversor de frequência e a partida compensadora, sendo que a partida compensadora atualmente encontra-se em desuso.

Após a etapa de projeto será realizada a construção e instalação do sistema, sendo que a primeira energização de um painel deve ser realizada por um profissional da área elétrica. O profissional mais indicado é um especialista em acionamentos e comandos elétricos industriais, que saiba utilizar um multimedidor de forma eficaz e detenha o conhecimento de normas. O responsável deverá seguir parâmetros de segurança, visando não danificar as peças do painel e no caso mais grave, não ferir pessoas.

No *startup* de um painel elétrico, o primeiro procedimento é testar as conexões dos equipamentos de força antes de energizá-lo. Feito isso, deve-se consultar o projeto e verificar se a lógica de acionamento das máquinas está de acordo, sendo que somente a parte do comando elétrico deverá estar energizada em um primeiro momento. Após estas conferências, será necessário regular os ajustes das peças inseridas no painel de acordo com as especificações em projeto.

Conferidos todos os componentes e com a constatação de que está tudo correto, o passo seguinte é energizar a seção de acionamentos das máquinas e cargas elétricas contidas no painel, a fim de verificar o sentido de giro das máquinas, que deverão estar desacopladas das respectivas cargas. Tais procedimentos são realizados com o objetivo de energizar o painel pela primeira vez com segurança sem risco de eventuais danos a linha de produção.

Quando se trata do primeiro acionamento de máquinas, antes de energizá-las, os cuidados deverão ser redobrados, pois pode conter erros de montagem no painel, peças soltas ou mal apertadas, bem como equipamentos não condizentes com o nível de tensão especificado em projeto. Engenharia e Victor (2005) explicam que a confiabilidade de um sistema se dá através do conhecimento da confiabilidade individual dos componentes nele inserido. Desta maneira, nota-se que as falhas podem ocorrer não apenas durante a operação, mas também no primeiro momento em que a instalação entra em operação.

Oportuno destacar que os painéis elétricos de acionamentos têm por objetivo acionar, controlar e proteger os motores e as cargas elétricas envolvidas, para que entrem em operação de forma segura. Ainda, visam proteger todo o ambiente que se encontram instalados, a fim de evitar possíveis acidentes com vítimas, como já mencionado. Assim, Franchi (2013) dispõe que o projeto e instalação dos painéis são baseados em normas nacionais e internacionais de segurança, como as normas NBR5410, NR12 e NR10.

Diante desses apontamentos, observa-se, que o painel elétrico está sujeito a falhas, das quais já se têm conhecimento de seu comportamento. Entre elas, a sobrecarga, sobretensão,

subtensão, falta de fase, falha no comando, mau contato, arco elétrico em dispositivos e curto circuito, que serão discutidas no presente trabalho.

De acordo com Saran (2009), falhas elétricas podem ser ocasionadas por fenômenos naturais, como por exemplo a elevação de tensão, gerada por uma descarga atmosférica nas linhas de transmissão. Todavia esta falha pode ser evitada mediante a instalação do equipamento Dispositivo de Proteção contra Surtos (DPS) classe 1 nos terminais de entrada da alimentação da instalação, e classe 3 no painel de acionamento.

Outro fator que pode gerar a elevação de tensão, é o chaveamento de cargas indutivas e capacitivas, e ocorrem quando o contator não atraca corretamente gerando o efeito conhecido como repique. Com o objetivo de prevenir a ocorrência deste tipo de falha, deve-se realizar a manutenção preventiva nos motores e seus dispositivos de acionamento e proteção, garantido que, quando acionados, se mantenham assim, não desconectando a carga da alimentação em intervalos de tempo. Esta desconexão intercalada gera transitórios de tensão na rede indesejados, podendo interferir no funcionamento dos componentes eletroeletrônicos contidos no painel de acionamento.

Em casos de falhas ocasionadas por problemas no painel, Ribeiro (2017) cita que devem ser realizadas manutenções corretivas, no entanto, este tipo de manutenção, na maioria dos casos, envolve troca ou conserto de peças, atuando diretamente no sistema. Assim, em sistemas onde não há a possibilidade de parada para a manutenção, ou seja, operam 24 (vinte e quatro) horas por dia, há sistemas de redundância e peças sobressalentes, a fim de manter o sistema trabalhando.

Desta forma, para que os alunos tenham uma boa formação, se faz necessário o uso de recursos que simulem e que repliquem as falhas que podem ocorrer no ambiente industrial. Para tanto, o mercado já dispõe de bancadas de teste prontas, que, no entanto, têm custo elevado, tornando-se de difícil acesso por instituições de ensino. Com base nessa premissa é que se desenvolveu o presente estudo, a fim de pesquisar e desenvolver uma bancada de qualidade e fácil acesso aos estudantes de engenharia elétrica.

Dentro deste contexto, a bancada didática pretende proporcionar uma aprendizagem ao aluno que seja satisfatória, condizente com a realidade de manutenção industrial em que os engenheiros eletricitas podem atuar desde da etapa de *startup*, em que diversas medidas devem ser realizadas para diagnosticar e evitar possíveis equívocos de instalação, até mesmo em situações de detecção de problemas diariamente encontrados por profissionais da área de manutenção industrial.

1.1 Justificativa

O projeto da bancada didática visa instruir os alunos da instituição em como proceder diante de situações de falhas, ou *startup* de painéis elétricos com circuitos de acionamentos de máquinas elétricas. Além disso, tem-se a possibilidade de introduzir conceitos práticos que os auxiliem em manutenções elétricas de baixa tensão de um modo geral, ressaltando a importância das normas de segurança vigentes.

Este contato com o ambiente industrial emulado é de grande relevância para os alunos, pois a demanda de profissionais atuantes nesta área têm crescido nos últimos anos. Desta forma, quando o acadêmico adquire essa experiência ao longo do curso, vai para o mercado de trabalho preparado. Paralelo a isso, Silva et al. (2013) diz que é observada a carência de profissionais capacitados na área de automação, para que esta possa ser instalada de forma fácil e simplificada.

Ainda, conforme já destacado, aquisição de uma bancada didática industrial pronta é barrada pelo alto custo envolvido. Logo, a ideia de projetar a bancada de baixo custo com o objetivo de simular falhas específicas que podem ocorrer em painéis elétricos industriais se torna justificada, já que a Instituição UTFPR/AP não conta com este tipo de equipamento em sua carga patrimonial.

1.2 Relevância

Bancadas didáticas de ensino possuem grande impacto na formação acadêmica em todas as áreas do conhecimento. Desta maneira, a relevância deste trabalho incide no contato do discente com a bancada, que o levará a obter conhecimentos sobre comandos elétricos e equipamentos amplamente utilizados na indústria, como inversores, relés, contadores, disjuntores, botoeiras, motores, projetos bem formulados, que beneficiem toda a comunidade.

1.3 Objetivos

O presente trabalho tem como objetivo principal a elaboração de um projeto para uma bancada didática de acionamentos elétricos industriais, com sua utilização destinada aos professores e alunos, com o intuito de emular falhas que podem ocorrer no ambiente industrial. Assim, o discente obterá experiência e conhecimento para atuar de forma efetiva em manutenções e projetos elétricos industriais.

Em vista disso, o presente trabalho tem os seguintes objetivos específicos:

- Estudo e pesquisa sobre os principais métodos de acionamentos elétricos industriais, voltados para a partida de motores elétricos de indução trifásicos.
- Estudo e pesquisa sobre as falhas mais comuns encontradas nos sistemas industriais e como atenuar seus efeitos com o objetivo de proteger a planta industrial.
- Pesquisa sobre bancadas didáticas desenvolvidas por discentes dentro das instituições e por empresas do ramo, comparando-as.
- Com base nos projetos de bancadas didáticas pesquisadas, elaborar a proposta de projeto da bancada didática.
- Projetar o circuito de comando e força da bancada didática de falhas, abordando os temas propostos.
- Desenvolver e implementar o circuito eletrônico microcontrolado contendo a ESP32, este com o objetivo de enviar os comandos para o circuito de acionamento principal via **Internet of Things (IOT)**.

- Dimensionar os cabos, chaves, contadores, disjuntores, relés de proteção e outros componente de acionamento e proteção das máquinas.

2 DISPOSITIVOS ENVOLVIDOS NO ACIONAMENTO DE MÁQUINAS ELÉTRICAS

No ambiente industrial o sistema deve ter um alto índice de confiabilidade, deste modo, para que isso ocorra, Mamede Filho (2018) dispõe que deve-se utilizar equipamentos normatizados e que tenham seus devidos ensaios praticados, obtendo selos de qualidade e eficiência. Ainda, segundo Lenz et al. (2019), com essa ideia de robustez em mente, na indústria são amplamente empregados os motores polifásicos com rotor gaiola de esquilo, já que estes equipamentos tem um bom desempenho comparado aos motores elétricos de indução monofásicos, além de possuírem características robustas em sua mecânica, aumentando o intervalo entre suas manutenções. Nesta seção, serão mostrados métodos, condições de uso e dimensionamento dos principais equipamentos utilizados no contexto de acionamento e controle de máquinas elétricas.

2.1 Disjuntor motor

Em partidas de motores de pequeno porte, o primeiro elemento que vem na linha de força depois da chave geral do painel é o disjuntor motor. Segundo Franchi (2013), este componente tem como objetivo fornecer a proteção elétrica para os circuitos, seccionando a carga devido a sobrecorrente e curto-circuito. Na proteção de máquinas elétricas, necessariamente deve ser empregado este tipo de equipamento, devido às características elétricas, inércia da máquina e contra-torque no eixo da mesma, proveniente do sistema.

A corrente de partida da máquina de indução trifásica é muito alta e pode atingir de 10 a 20 vezes sua corrente nominal I_n em um curto período de tempo. Logo, deve-se utilizar o disjuntor motor, este que possui categoria D e está preparado para suportar correntes elevadas de partida. É possível fazer o uso do fusível em conjunto com o relé térmico, configuração esta que tem o mesmo efeito do disjuntor motor no circuito, oferecendo proteção contra curto circuito e sobrecorrente. Neste caso o fusível atua por curto circuito e o relé térmico por sobrecorrente.

2.2 Fusível

O fusível atua, de acordo com Taques (2016), na proteção da máquina e circuitos contra curto-circuito, podendo fornecer proteção contra sobrecarga. Porém, a proteção contra sobrecarga se dá somente em condições específicas, em que este dispositivo está bem dimensionado e a máquina tem partida rápida, deste modo, o pico de corrente de partida não se mantém em valores altos por muito tempo.

Devido a estes fatores, na indústria é comum que este equipamento seja encontrado em uso conjunto ao relé térmico, protegendo a máquina com menor custo em comparação ao disjuntor motor, que tem custo mais elevado.

Ainda, segundo Taques (2016), os fusíveis possuem duas faixas de letras que indicam

quais proteções estes fornecem. A primeira faixa assumindo a letra **g**, demonstrando que o fusível atua por curto e sobrecarga. Caso esta faixa assuma a letra **a**, indica que o fusível atua somente contra curto-circuito.

A segunda faixa de letra indica a utilização do fusível, podendo assumir 6 diferentes tipos que serão listados a seguir.

- Letra "**L/G**": cabos e linhas/proteção de uso geral
- Letra "**M**": equipamentos de manobra
- Letra "**R**": semicondutores
- Letra "**B**": instalações de minas
- Letra "**Tr**": transformadores

A seguir será demonstrado os principais fusíveis que podem ser encontrados no mercado. Dentre estes os classe NH, contato tipo faca, que são utilizados em conjunto com um elemento seccionador onde os fusíveis ficam acoplados nele, e possuem uma manopla para fazer o seccionamento da carga isolando-a do sistema elétrico. Na indústria geralmente estes equipamentos são encontrados protegendo as máquinas de indução trifásicas.

Figura 1 – Classificação dos fusíveis



Fonte: (TAQUES, 2016).

2.3 Relé térmico

Este equipamento é utilizado em acionamento de motores elétricos de indução, onde não há a utilização de chaves de partida. Pode-se destacar ainda a sua utilização nas principais partidas, entre elas, a partida direta e estrela/triângulo.

Este relé opera por sobrecarga, e, de acordo com Taques (2016), atua quando a máquina estiver trabalhando acima de sua corrente nominal, sendo que a lâmina bimetálica que este componente possui internamente dilata e deforma devido ao calor a que está submetida, proveniente

da passagem excessiva de corrente elétrica neste filamento. Deste modo há de forma mecânica a transição dos contatos auxiliares NA/NF que este componente possui.

A dilatação da lâmina bimetálica depende da curva de disparo do componente, essa curva é baseada na corrente de ajuste do relé. De acordo com o ajustado no relé o tempo de disparo irá aumentar ou diminuir, podendo variar de um minuto até 180 minutos.

Ressalta-se que este componente não secciona o circuito de potência, esta função é desempenhada pelo contator, ou seja, o relé térmico, através de seus contatos auxiliares, apenas corta a energização da bobina do contator.

De acordo com o entendimento do projetista, pode-se considerar o F.S máquina que geralmente é de 15%. Se este fator for levado em conta, em uma possível sobrecarga de $1,15 \cdot I_n$, há motores que estão preparados para este tipo de situação momentânea, podendo atuar neste contexto. Porém, caso o relé não esteja dimensionado para este tipo de ocorrência, este desligará a máquina operando de forma indevida, deixando de aproveitar esta potência a mais que a máquina pode fornecer.

2.4 Mini disjuntor (din)

Em painéis de acionamentos elétricos, este equipamento é destinado à proteção dos circuitos de comando e alimentação dos componentes que auxiliam no controle das máquinas como: fontes de corrente CC, controladores (CLP), IHM e outros equipamentos que sejam necessários para que a planta tenha seus componentes energizados com segurança.

Taques (2016) aponta que este componente fornece proteção contra curto-circuito e sobrecarga e possui curva de acionamento B e C, ou seja, suporta corrente instantânea de 3 a 5 vezes (curva B) e 5 a 10 vezes (curva C) a nominal. Ressalta-se, ainda, que a corrente nominal deste equipamento deve ser menor ou igual a máxima corrente suportada pelos cabos da instalação.

2.5 Contator de potência

O contator de potência é o componente do painel de acionamento destinado a seccionar a máquina e outros componentes de potência elevada. Vale ressaltar que o emprego deste equipamento se dá quando o acionamento da máquina não é feito via chave eletrônica. Este componente dispõe de 6 contatos de força, em que três deles são conectados os cabos da rede elétrica de energia e os outros 3 são destinados para a conexão das pontas das bobinas de acionamento da máquina.

Segundo Taques (2016), além dos contatos de força, o contator detém contatos auxiliares normal fechado/aberto onde estes são utilizados para possíveis intertravamentos, sinalização e afins, possuindo também os contatos da bobina, logo, o acionamento deste dispositivo se dá de forma mecânica e faz uso do fenômeno eletromagnético. Este dispositivo fornece comodidade, permitindo o acionamento das máquinas de forma remota.

2.6 Soft-starter

A *soft-starter* é uma chave de partida estática, equipamento microprocessado e que utiliza eletrônica de potência para partir motores de indução trifásicos de forma suave. Segundo Costa (2014), é este dispositivo que garante que o transitório e sub-transitório de corrente, durante a partida de máquinas de indução trifásicas tenham níveis de corrente adequados e não prejudiciais ao sistema elétrico.

Este equipamento fornece uma rampa de tensão para a máquina através do controle do ângulo de disparo dos tiristores, fazendo com que a máquina vença a inércia com o mínimo de corrente possível, de acordo com sua parametrização.

De acordo com Group (2021), estas chaves contam com um *range* de capacidade de corrente muito alto, podendo chegar até 1400A em conexão padrão. São amplamente utilizadas quando o objetivo é partir e controlar os parâmetros da máquina, já que a mesma monitora os principais parâmetros da rede elétrica através de sensores internos.

2.7 Inversor de frequência

Equipamento destinado a partir e controlar a máquina de indução trifásica, porém com um ajuste fino no controle de corrente durante a partida da máquina. Outra grande vantagem que torna o uso deste dispositivo atrativo, é o controle da velocidade de rotação da máquina. Para controlar este parâmetro do motor, o inversor altera a frequência e tensão de alimentação da máquina, fator que não é passível de alteração quando a *soft-starter* é empregada nos sistemas.

Este equipamento é o que há de mais novo e tecnológico quando o assunto é partida deste tipo de máquina elétrica, e conta com dois principais tipos de controle: escalar e vetorial. Por este motivo, em seu trabalho, Costa (2014) destaca a maior aplicabilidade deste equipamento no meio industrial.

2.8 Relé de interface/auxiliar

A função deste relé é auxiliar na lógica de controle das máquinas e fazer um acoplamento entre tensões de acionamento. Seu funcionamento utiliza o efeito magnético para fechar seus contatos, princípio de funcionamento semelhante ao do contator. Este equipamento pode ser encontrado com mais contatos, visando eficácia em sua inserção na lógica de acionamento das máquinas ou dispositivos que estão sendo controlados via painel elétrico.

As bobinas do relé auxiliar podem ser alimentadas em diferentes níveis de tensão, como em corrente CA ou CC e sua nomenclatura é usualmente utilizada como A1 e A2. Com essas características, o seu uso se dá principalmente em conjunto com microcontroladores, onde a saída de acionamento deles é normalmente de 24VCC.

Nascimento (2018) contribui exemplificando as semelhanças do contator auxiliar e do relé auxiliar dentro da lógica de comandos. Ele também compara esses componentes em relação

ao seu tamanho, sendo que o relé auxiliar tem vantagem por ser menor, porém os contatores auxiliares são mais robustos, necessitando menor frequência de manutenção. O autor compara ainda, o tempo de atuação dos dois componentes, em vantagem o relé auxiliar, que possui tempo de 6 ms contra 35 ms do contator.

2.9 Relé temporizador

Este equipamento é destinado a temporizar o acionamento de algum componente do painel, sendo que seus contatos estão preparados para conduzir até 5A, logo, a carga que este equipamento pode acionar é pequena. Este relé é comumente utilizado em conjunto com contatores de potência, onde o acionamento da bobina do contator é controlado pelo contato auxiliar do relé temporizador.

Estes relés também podem ser inseridos na lógica de acionamento temporizando alarmes, bombas de injeção de produto, contatores como se é feito na partida estrela/triângulo e afins. Neste contexto, Nascimento (2018) exemplifica a utilização deste componente no comando de uma partida estrela/triângulo.

As possibilidades do emprego deste equipamento são inúmeras, visto que este relé pode ser adquirido com diferentes funções, como retardo na energização, retardo na desenergização, cíclico, pulsante, entre outros. Além do tipo de função que o relé executa, pode-se encontrá-lo em diferentes níveis de tensão podendo ser em CA ou CC e com vários contatos auxiliares, características que ajudam na elaboração do projeto da lógica de comando das máquinas.

2.10 Relé de estado sólido

O autor Alves e Paim (2011) define que este relé é acionado via semicondutor e que no caso deste equipamento, se faz o uso do tiristor **Triode for Alternating Current (TRIAC)**, que é um componente eletrônico onde dois retificadores controlados de silício (SCR/tiristores) são ligados em antiparalelo e com seu terminal de disparo (gate) ligados em conjunto.

De acordo com Tirloni e Machado (2018), o diferencial deste equipamento se dá pelo fato de não possuir contatos metálicos, como, por exemplo, o contator. Assim, no acionamento das cargas via relé de estado sólido não é gerado arco elétrico.

2.11 Botoeira e chave seletora

Carvalho (2020) define a botoeira como um dispositivo de comando usado para abrir ou fechar o circuito, em que esta possui contatos normalmente abertos ou fechados. É um equipamento de interface homem-máquina que, quando pressionada, através de seus contatos (normal fechado ou aberto), irá enviar um pulso pré-programado *on* ou *off* para o sistema, e este executará uma determinada função.

As botoeiras tem seu retorno automático para a posição original após pressionadas, caracterizando o pulso. Geralmente a cor está associada com o tipo de função que o sistema realizará após o aperto do botão, sendo que a cor verde indica que o sistema está parado e a cor vermelha sinaliza que o sistema está em funcionamento.

As chaves seletoras são componentes alocados na porta do painel, e, assim como as botoeiras, seu objetivo é fazer esta interface homem-máquina. Porém esta chave não é acionada por pressão e sim por rotação, e, de acordo com (CARVALHO, 2020), seu retorno não é feito de forma automática.

2.12 Sinaleiros e ihm

Os sinaleiros são equipamentos destinados a realizar a interface homem-máquina e tem como principal função emitir sinal luminoso ou sonoro, indicando algum status do painel, máquina e equipamentos, podendo emitir sinalização de perigo também. Segundo Ribeiro (2017), são estes equipamentos que permitem a identificação de motores em funcionamento, bem como a identificação de falhas sem a abertura da estrutura ou sem ir até a localização do motor.

A interface homem-máquina (IHM), possibilita, ainda, de acordo com Ribeiro (2017), a criação de supervisórios, em que dados de entrada e saída são aceitos por este equipamento, fazendo esta via de mão dupla, onde a IHM faz a aquisição dos comandos recebidos por parte do homem e os envia até o CLP, que processa estes comandos e reenvia uma resposta para a IHM que é mostrada para o homem.

2.13 Fontes cc e transformadores

São componentes contidos no painel, em que, de acordo com Ribeiro (2017), sua principal função é readequar o nível de tensão no circuito de comando ou de força do painel elétrico. Esta readequação do nível de tensão objetiva energizar equipamentos eletroeletrônicos como solenoides, CLPS, IHM, relés e outros onde estes níveis sejam necessários.

Segundo Daniel e Pedro (2020), a parte construtiva de fontes reguladoras lineares provém de transformadores, que rebaixam o nível de tensão da rede até o desejado, e após esta regulação há a retificação desta senoide via ponte de diodos. Por fim, esta tensão é filtrada por capacitores, com o objetivo de retirar ondulações que possam existir nesta tensão devido ao processo de retificação por diodos.

2.14 Clp

O Controlador Lógico Programável (CLP) é a unidade lógica que recebe e processa os sinais elétricos, possuindo saídas digitais e analógicas, estas que atuam no sistema com o intuito de controlá-lo de forma rápida, programável e eficaz.

Segundo o professor Silva (2007), este equipamento é compatível com as necessidades industriais, sendo robusto em sua construção e atendendo as normas vigentes. Ainda, é possível gerar uma interrupção no código que o CLP está executando, com o objetivo de realizar uma manutenção, por exemplo, e após a execução, o controlador tem o recurso de rodar o código do ponto em que parou, facilitando a manutenção da planta onde está inserido, gerando economia de tempo e matéria-prima.

3 FALHAS ELÉTRICAS NO ACIONAMENTO E CONTROLE DE MÁQUINAS ELÉTRICAS

As falhas elétricas compreendem surtos de corrente ou tensão em painéis elétricos industriais de acionamentos e controle de máquinas elétricas rotativas. A ocorrência destes surtos podem advir de fatores internos ou externos à planta de instalação, com base nessa informação, a norma ABNT (2005) em especial a NBR 5410, define o ponto de entrega como o local de conexão do sistema elétrico da companhia de distribuição de energia elétrica com o sistema elétrico das unidades consumidoras, assim delimitando responsabilidades. Posterior a esta premissa, será discorrido adversidades internas e externas às instalações elétricas e maneiras de contorná-las.

O sistema deverá ser projetado em conformidade com as normativas vigentes, dispondo de equipamentos bem dimensionados e aplicados em pontos estratégicos do sistema. Deste modo, os componentes, bem aplicados no contexto inserido, fazem com que estes surtos tenham seus efeitos atenuados dentro da planta industrial, tornando-a mais confiável e robusta.

Algumas falhas podem ser externas ao sistema de acionamento industrial, neste contexto, Saran (2009) ressalta que as descargas atmosféricas estão entre as principais causas da ocorrência de distúrbios no sistema elétrico, ocasionando sobretensões e danos ao patrimônio. Estes danos causam a interrupção do fornecimento de energia elétrica gerando prejuízos às empresas do setor elétrico e a sociedade como um todo.

As falhas internas ao sistema de acionamento industrial podem ser provocadas pela operação incorreta dos equipamentos contidos no painel elétrico, produzindo as falhas elétricas. Segundo Mamede Filho (2018), o funcionamento incorreto destes componentes inseridos no painel, acarretam surtos elétricos. Os contatores não intertravados em partidas poderão ocasionar curto-circuito, levando ao mau funcionamento do equipamento, que poderá acarretar no afundamento da tensão, gerando a falha elétrica.

Com base na premissa de que é inevitável que ocorram falhas, serão abordadas as causas destes tipos de falhas, equipamentos utilizados na indústria para combater seus efeitos negativos, como aplicá-los e como realizar a manutenção.

3.1 Sobrecarga

A sobrecarga ocorre quando o sistema em que o motor está inserido exige mais potência do que o motor está preparado para fornecer. Devido a este fato, ocorre a elevação de corrente nos enrolamentos da máquina, o que acarreta em perdas por aquecimento e que podem levar à queima destes enrolamentos.

Franchi (2013) classifica a sobrecarga como uma circunstância onde a corrente elétrica é superior ao que os materiais utilizados suportam, por um determinado valor e por um limite de tempo, resultando em um superaquecimento por perda Joule. Deste modo, em um painel elétrico com sobrecarga, há um excesso de corrente que os componentes estão preparados para conduzir,

mas suportarão por pouco tempo, assim, os sistemas de proteção devem atuar para proteger as máquinas elétricas e equipamentos contidos no painel de acionamento.

Jordan et al. (2018) aduz que a ocorrência de uma sobrecarga por um grande período de tempo resulta em aquecimento do motor, até que os enrolamentos das bobinas do mesmo tenham seu esmalte isolante deteriorado, ocasionando, com isso, um curto entre os enrolamentos e gerando ainda mais calor pois a corrente é aumentada de forma considerável. Em último caso, se as proteções não atuarem devido a não manutenção dos mesmos ou superdimensionamento, o aquecimento pode ser suficiente para que os equipamentos entrem em combustão pondo em risco a instalação como um todo, inclusive, expondo em risco, os envolvidos.

Em relação às falhas, vale ressaltar que atualmente algumas máquinas são fabricadas com proteções redundantes como termistor, que é um resistor variável de acordo com a temperatura que atinge devido ao ambiente em que está inserido. Esse equipamento se encontra nos motores, próximo de suas bobinas, onde o aquecimento maior é gerado. Alguns vem com um PT 100, que é um sensor de temperatura, ou seja, converte um efeito físico no caso calor em sinal elétrico que pode ser de corrente 4 mA a 20 mA ou sinal de tensão 0 V a 10 V.

Segundo o estudo de Silva (2016), o PT100 de platina e sinal 4-20 mA tem estabilidade e exatidão elevada. Essas características são bem vistas no meio industrial, já que os sistemas envolvidos neste ambiente devem ser robustos e menos suscetíveis a interferências eletromagnéticas, logo, é preferível a utilização deste sensor com sinal de corrente, devido às vantagens citadas. Após a aquisição do valor de temperatura por meio do sensor, este sinal é enviado para um digital controlador de temperatura, que fica localizado no painel de controle da máquina, onde este, via protocolo de comunicação ou relé, interrompe a linha de comando, desligando a máquina em caso de superaquecimento.

Quando a máquina é acionada por alguma chave, as mais utilizadas são inversor de frequência e *soft-starter*, estes equipamentos tem suas proteções de sobrecorrente embutidas neles, porém é comum se ver na indústria proteções como os PT100, termistores e disjuntores motores atuando em conjunto na proteção da máquina, com o intuito de propiciar uma instalação com maior confiabilidade e consequentemente proteger os equipamentos elétricos.

O PT100 é empregado nos motores elétricos, pois com ele há a garantia de que a máquina está operando com determinada temperatura. Quando se utiliza apenas as proteções do inversor, a proteção da máquina é feita de forma indireta limitando a corrente. Porém, pode-se haver casos adversos que fazem com que uma determinada corrente, esteja aceitável para os parâmetros da chave de partida, mas não esteja de acordo com o permitido no motor elétrico, um exemplo seria quando a máquina está trabalhando a uma baixa rotação, este equipamento depende de refrigeração forçada por meio de uma hélice, esta que está acoplada ao eixo de rotação da máquina, logo, se o mesmo gira mais devagar a refrigeração se torna menos eficiente, podendo atingir parâmetros inaceitáveis, caracterizando o caso anteriormente citado.

3.2 Sobretensão

O autor Saran (2009), define sobretensão como a elevação da tensão em um determinado ponto na rede de distribuição elétrica, e, em grande parte dos casos, pode-se considerar um transitório de elevada diferença de potencial (DDP), já que o mesmo tem um período curto de duração. Mesmo este intervalo de oscilação da rede sendo curto, não é prudente descartar o seu perigo para a instalação elétrica, uma vez que este transiente pode danificar os equipamentos compreendidos no painel elétrico.

Os equipamentos mais sensíveis a surtos de tensão são as placas eletrônicas contidas em chaves de acionamento, controladores (CLP's), digitais de aquisição de dados, entre outros. Em vista de que os principais equipamentos do painel elétrico são placas de controle e potência, serão exemplificadas a seguir as causas de ocorrência de sobretensão e métodos para evitar que os equipamentos elétricos sejam afetados por este tipo de falta.

Segundo Mamede Filho (2018), máquinas de indução de elevada potência na faixa de 150cv a 500cv podem provocar surtos de tensão transitórios em momentos de desligamento repentino, durante a partida, ou mesmo durante o desligamento. A causa da elevação de tensão, neste contexto, pode ser considerada interna ao sistema em que o painel de acionamento se encontra. Além do chaveamento de cargas indutivas de grande potência, a sobretensão pode ser ocasionada por descargas atmosféricas na linha de distribuição, seja em baixa ou até mesmo na alta tensão de distribuição direta e indiretamente.

Ainda, de acordo com Saran (2009), o pulso eletromagnético gerado pela descarga atmosférica e o campo magnético ocasionado devido a circulação da corrente de falta, fazem com que seja induzida uma corrente em condutores que estejam próximos a este ponto onde a falta ocorreu, fator que gera surtos de sobretensões no sistema. É mais comum que esse fenômeno natural ocorra em linhas de alta tensão, por estarem alocadas em postes mais altos.

A origem desta falha pode ser considerada externa ao sistema de acionamento, já que a mesma ocorre na linha de distribuição e esta influencia no sistema como um todo. Nessa mesma perspectiva, pode-se citar o erro de manobra por parte da companhia de distribuição de energia elétrica. Quando a distribuidora comete essa falha ou seja, retira uma grande parcela da carga que a mesma atende, por meio de disjuntores de potência e em seguida a religa no sistema.

A carga elétrica é predominantemente indutiva, assim pode-se seguir a equação $V_t = L \cdot \frac{di}{dt}$, onde é possível observar rápidas variações de corrente neste tipo de carga gera uma tensão muito alta no sistema. Outro fator que eleva o nível de tensão da rede, segundo Pamplona et al. (2014), ocorre na energização e desenergização de banco de capacitores. Estes níveis de tensão elevados podem causar grandes danos aos equipamentos como o curto-circuito em seus componentes internos, mau funcionamento das placas eletrônicas e até a explosão de componentes internos, como capacitores.

Em sistemas industriais é imprescindível a adoção de métodos que tornem as plantas industriais mais seguras. Neste contexto serão apresentados métodos e equipamentos que devem

ser adotados, com o objetivo de minimizar este efeito de sobretensão nos equipamentos que compõem o painel elétrico de acionamento.

Na indústria, com o intuito de resolver este problema de elevação de tensão nos painéis, se é feito o uso do Dispositivo de Proteção contra Surtos (DPS), este que será ligado entre as fases R, S e T e o aterramento. Assim como o uso do DPS, outro fator importante para que as consequências da elevação de tensão sejam atenuadas é ter um aterramento de qualidade protegendo a planta industrial. Este fator é extremamente relevante e de acordo com as normas da ABNT (2005) NBR 5410, toda edificação deve conter uma infra-estrutura de aterramento, esta sendo composta por eletrodos de aterramento. Ainda, a norma enuncia a necessidade de realizar uma equipotencialização principal reunindo as armaduras de concreto armado, estruturas metálicas da edificação e principalmente os condutores de proteção principal da instalação elétrica.

A seguir serão citadas as principais normas utilizadas em aterramento, fator que como visto é de suma importância para o bom exercício da planta industrial:

- **NBR 5410:** Instalações elétricas de baixa tensão
- **NBR 7117:** Medição da resistividade e determinação da estratificação do solo
- **NBR 15749:** Medição de resistência de aterramento e de potenciais na superfície do solo em sistemas de aterramento
- **NBR 16527-1:** Aterramento para sistemas de distribuição
- **NBR 16254-1:** Materiais para sistemas de aterramento Parte 1: Requisitos gerais
- **NBR 5419:** Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas

3.3 Subtensão

Subtensão é a diminuição do nível da tensão nos painéis elétricos. Para o acionamento de motores elétricos de indução, a redução de tensão provoca o efeito de sobrecorrente, sendo que para fornecer o mesmo nível de potência o nível de corrente deve compensar a alteração do nível de tensão para uma mesma carga.

Esta queda de tensão pode ser ocasionada pelo mau dimensionamento dos cabos quando a carga a ser acionada está distante do ponto de entrega de energia. Esta tensão sofre redução, seja na impedância do cabo devido a distância ou por um possível mau dimensionamento deste elemento e as normas da ABNT (2005) NBR 5410, estipulam que esta queda não deve exceder 7% a partir do ponto de origem de baixa tensão e 5% a partir do ponto de entrega da instalação.

Outro fator que propicia o abaixamento do nível de tensão é o curto-circuito, podendo ser observado tanto no lado de alta, como no lado de baixa tensão dos transformadores de alimentação das cargas. Além destes fatores, pode-se destacar o desbalanceamento de cargas, onde, em sistemas que não sejam trifásicos, estes estejam distribuídos não uniformemente entre as três fases, fator que traz como consequência o afundamento da tensão de alimentação do complexo elétrico.

O autor Mamede Filho (2018) diz que, é primordial que seja feita a averiguação do

nível de tensão durante a partida dos motores elétricos, pois dependendo da carga e tipo de acionamento faz com que seja exigido demais do sistema elétrico, causando perturbações que podem não estar dentro do suportável pelo mesmo. Ressalta, ainda, que podem existir partidas simultâneas dentro da planta industrial, fator que agrava ainda mais as condições do complexo de suprimento da instalação.

Caso o afundamento de tensão seja elevado, equipamentos que dependem de um nível de tensão constante como os contatores, podem interromper seu funcionamento e eventualmente seccionar a carga. Feito isso, o nível de tensão tende a se reestabelecer, logo o contator entrará em operação novamente, este ciclo de liga/desliga se repete, ocasionando o defeito de repique. Segundo Nery e Kanashiro (2016), este defeito tem grandes chances de fundir os contatos do contator, deixando as fases passarem direto para a máquina, falha que danifica tanto a máquina como o contator. Deste modo, fica evidente que o nível de tensão adequado é de extrema importância para os painéis elétricos.

3.4 Falta de fase

A falta de fase, conforme Gonzalez (2007), ocorre quando a fase deixa de chegar até ao quadro de comando. É uma falta extremamente perigosa, pois em uma máquina de indução trifásica, caso seja disponibilizada apenas duas fases, sofrerá com elevado nível de sobrecarga, acarretando em elevados níveis de corrente nos dois condutores energizados. Ainda, de acordo com Gonzalez (2007), as perdas no rotor podem aumentar de 5 a 6 vezes, tendo como base as perdas nominais.

A fabricante WEG Group (2021), dispõe de um dispositivo eficiente para proteção deste tipo de falha no sistema, no caso, o relé falta de fase, equipamento responsável por monitorar o sequenciamento das fases, sua presença e também o nível de tensão delas.

3.5 Falhas no comando elétrico

Este tipo de falha ocorre quando a lógica do comando elétrico, seja ela feita via cabos ou via CLP, atua de forma indevida. As causas para esta operação inadequada geralmente estão inseridas no sistema, ou seja, alguma chave que está com mau contato, fim de curso ou relé com sua placa eletrônica queimada ou até mesmo algum intertravamento não efetuado.

Lenz et al. (2019), destaca que quando alguns contatores não podem ser acionados ao mesmo tempo é necessário o emprego do intertravamento e este dever ser feito com dois contatos auxiliares em série. Exemplo disso são as partidas em cascata, em que o funcionamento de uma máquina depende de outra que está com a lógica de prioridade de acionamento maior, a máquina prioritária não sendo ativada inibirá o acionamento da outra.

Pode-se ressaltar a falha humana em processos semi-automáticos, em que o operador do sistema insere uma entrada na lógica de acionamento que ainda não poderia ser adquirida. Com essa entrada inapropriada no sistema, este pode entender que é para executar determinada

função em um momento errado, ocasionando uma possível instabilidade no mesmo. Em vista desse tipo de falhas, Guilherme e Alves (2014) destacam que para a elaboração de conjuntos de manobra e comandos elétricos, o projetista deve ter amplo conhecimento das normas em vigor, das normas do ministério do trabalho, em particular a NR 10 e legislações correlatas.

3.6 Arco elétrico

O arco elétrico pode ser considerado uma falha extremamente perigosa, quando ocorre em equipamentos que não estejam preparados para suportar a ocorrência deste fenômeno. De acordo com Campos (2016), consiste no surgimento de alta corrente elétrica devido ao intenso campo elétrico nos terminais dos condutores que produz uma descarga de plasma fora deles, ou seja, ao ar livre.

É possível notar o surgimento deste fato principalmente no seccionamento de cargas indutivas com grande valor de potência. Ainda, equipamentos que apresentam mau contato são passíveis de contribuir com o surgimento desta falha, além de quaisquer objetos que estejam inseridos em um campo elétrico muito grande, ocorrendo o rompimento do dielétrico, o objeto ou pessoa será atingida pelo arco, sofrendo queimaduras gravíssimas e conduzindo esta corrente de grande valor, acarretando em uma possível fibrilação do coração.

Campos (2016) salienta para os perigos deste fenômeno, que são provenientes da corrente circulando fora dos condutores, ocasionando possíveis explosões em áreas classificadas. Devido a sua grande energia incidente, em painéis com a tampa fechada, a grande temperatura aquece o ar dentro do painel e esse expande, tendendo a abrir a porta do quadro, e, ocorrido este fato, o risco para seres vivos aumenta consideravelmente, cabendo ressaltar também que a extinção desta falha deve ser executada de forma extremamente rápida. O arco elétrico tem sua temperatura elevada devido ao grande fluxo de elétrons, chegando até 20.000 K . Ademais, os disjuntores são os equipamentos apropriados para extinguir este fenômeno, já que, estes possuem em sua construção câmaras projetadas especialmente para extinguir este tipo de falta.

3.7 Curto-circuito

O autor Carvalho (2020) define curto-circuito como uma interligação entre dois elementos que estão em diferentes potenciais a um caminho de baixa impedância, resultando em elevadas correntes elétricas no circuito, sejam eles de potência ou comando em painéis elétricos. Esta interligação pode ser entre três fases (curto circuito trifásico), entre duas fases (curto circuito bifásico), entre fase e neutro (curto circuito monofásico). Há também a interligação das fases com o aterramento, denominado curto circuito fase-terra.

As premissas descritas anteriormente geram um tipo de curto que é denominado franco, onde não há impedância de falta. Porém, nem sempre a fase precisa encostar no outro equipamento que está em um potencial diferente, caso a tensão seja alta o suficiente ocorre o rompimento do dielétrico do ar e a corrente começa a circular através do mesmo, acarretando

no arco elétrico caracterizando o curto circuito. As correntes de curto-circuito na forma franca são maiores comparadas as correntes do curto na forma de arco elétrico, porém, mesmo sendo menores as correntes na forma de arco elétrico também são extremamente prejudiciais para a instalação em geral e seres vivos.

O curto-circuito em instalações elétricas industriais, segundo Mamede Filho (2018), são provocados pela ausência ou perda de isolamento de qualquer elemento energizado do sistema. Com isso, a corrente elétrica que percorre o complexo elétrico atinge proporções de 10 a 100 vezes seus valores nominais, sendo então um parâmetro importantíssimo para o projeto elétrico, já que o sistema e seus componentes devem estar preparados para extinguir este tipo de falta.

Por fim, Mamede Filho (2018) dispõe que as correntes de curto-circuito incorrem em solicitações de natureza mecânica, incidindo sobre os barramentos, chaves e condutores, resultando em rompimento dos apoios e, em caso de dimensionamento inadequado dos quadros de distribuição, deformação na estrutura destes, e, paralelo a isso, provocarão avarias com a queima dos componentes da instalação.

3.8 Falhas gerais nos dispositivos de comando e força

As falhas que podem ocorrer em dispositivos elétricos em painéis industriais são inúmeras, entretanto, essa seção trará as principais falhas conhecidas no meio. Mamede Filho (2018), determina que em contadores, o princípio de funcionamento é baseado na força magnética gerada pela bobina de acionamento quando energizada, produzindo uma força mecânica que irá atuar sobre suas partes móveis provendo a energização do circuito.

Com base neste princípio físico, o equipamento necessita que a tensão nos terminais de sua bobina de acionamento estejam em níveis adequados para que o mesmo possa se manter acionado. Caso essa especificação não seja respeitada, ele pode desacoplar seus contatos, ou até mesmo iniciar o processo de repique, que se dá pela vibração de seus contatos de força gerando pequenos arcos elétricos e conseqüentemente o aquecimento excessivo dessa peça.

As interferências eletromagnéticas podem ocorrer em dispositivos eletrônicos do painel de acionamento, gerando ruídos nos CLP's, controladores, temporizadores e equipamentos digitais de aquisição de dados por exemplo. Liz (2003) define ruído eletromagnético como fenômeno eletromagnético variável no tempo, que não contém informação e é capaz de superpor-se ao sinal original ou até mesmo combinar-se com ele.

Estes ruídos são extremamente prejudiciais em equipamentos de medição, como por exemplo em balanças digitais, inseridas em processos industriais que utilizam transdutores. Este fenômeno induz ao erro de leitura da variável elétrica de corrente ou tensão. Já em microcontroladores, este fenômeno pode acarretar no processamento errado dos sinais, gerando uma saída não condizente com a topologia de controle e lógica a ser seguida.

Em comandos elétricos, devido a grande quantidade de linhas energizadas e componentes, é comum ocorrer curto-circuitos nestas linhas energizadas. Estes curtos são provenientes da perda de isolamento dos componentes das placas eletrônicas ou de falhas humanas em possíveis

manutenções.

As placas eletrônicas, estão presentes na maioria dos componentes dos painéis elétricos, fator que aumenta as chances de se ocorrerem curtos nas linhas de comando, este fenômeno pode ser observado devido ao uso contínuo destes equipamentos e podem ser provenientes do rompimento do dielétrico dos capacitores que são utilizados em larga escala nas placas eletrônicas.

De acordo com Cerqueira (2009) o objetivo de introduzir um dielétrico no capacitor é limitar a diferença de potencial entre suas placas energizadas. Grandeza que se excedida causará o rompimento do material dielétrico, criando um caminho condutor entre as placas ocasionando o curto-circuito.

Os autores Daniel e Pedro (2020) definem sensor como um dispositivo sensível a alguma forma de energia, podendo ser luminosa, térmica ou cinética. O objetivo deste componente é reunir informações sobre as grandezas que precisam ser medidas, dentre elas pode-se destacar temperatura, pressão, vazão, velocidade e outras. Ressalta-se que nem sempre estes sensores tem as características elétricas necessárias para serem inseridos diretamente no sistema, logo se faz necessário a utilização de condicionadores de sinais.

As falhas neste tipo de equipamento ocorrem principalmente pela falta de manutenção preventiva e por desgaste provenientes do ambiente. O mau funcionamento desta ferramenta implica em um controle equivocado do sistema, pois seus dados de realimentação não estão condizentes com a realidade, fator que pode gerar prejuízos físicos e monetários para os proprietários. Neste contexto de mau funcionamento de equipamentos de medição, pode-se citar o transdutor de pressão aplicado na medição de amônia. Segundo os autores Tulio e Pinto (2018), em condições normais do ambiente, a amônia torna-se um gás incolor, tóxico e corrosivo, deste modo, esses fatores aliados à não-manutenção do equipamento, resultarão em algum tipo de mau funcionamento, ocasionando um possível erro de leitura.

4 BANCADA DIDÁTICA EXPERIMENTAL VOLTADA AO ENSINO

É de extrema importância a presença de uma bancada experimental no ambiente acadêmico. Em vista disso, Rovea, Januário e Hoffmann (2016) retratam a importância de se ter esta bancada em práticas laboratoriais voltada ao ensino, evidenciando que seu projeto irá fornecer conhecimento prático e teórico sobre máquinas elétricas e seus respectivos acionamentos, colocando em prática cálculos e conceitos vistos em sala de aula, trazendo a fixação destes conteúdos e tornando o aprendizado mais eficaz.

Além destes benefícios, a bancada de acionamento tem como objetivo despertar o interesse do aluno em diferentes áreas sobre o vasto conteúdo de máquinas elétricas, evidenciando a importância e necessidade que se tem de profissionais capacitados nesta área, esclarecendo a ampla disseminação desta no meio industrial.

4.1 Metodologia de ensino em práticas laboratoriais

As novas propostas de ensino visam preparar os alunos para o cenário atual de mercado, em que a tecnologia está presente em praticamente todas as áreas de atuação dos profissionais atuais. Em vista disso, Barbosa e Barbosa (2010) apontam que é responsabilidade das instituições fornecerem um ensino de qualidade, preparando os alunos a desenvolverem o pensamento crítico e a capacidade de resolver problemas. Ainda, os governos de diversos países vem debatendo este tema com o objetivo de elaborar propostas educacionais que sanem estas demandas.

Os autores Barbosa e Barbosa (2010), ressaltam a importância do professor na eficácia do ensino, definindo-o como um elemento facilitador. O trabalho conjunto entre professor e aluno é essencial devido a experiência do docente em ministrar a aula de tal forma que o discente tenha percepções alternativas sobre determinado assunto.

Neste contexto, Barbosa e Barbosa (2010) apresentam uma ideia alternativa para o ensino de microbiologia, já que, para este fim são necessários vários equipamentos de grande valor. A proposta se dá em substituir, quando possível, estes equipamentos caros, dentre eles, a esterilização com autoclave, substituída pela panela de pressão, porém, a esterilização com panela de pressão é mais demorada, fator a ser considerado pelos alunos. Estas alternativas trazem uma visão diferente para os discentes, estes obtendo ideias e gerando soluções alternativas para um determinado problema, aplicando a reutilização de materiais, além de gerar economia é uma ação sustentável, mais um conceito importante para o cenário mundial.

Em outra seara, Andrade, Diniz e Campos (2011) sugerem uma proposta de docência mais clássica para o ensino em práticas laboratoriais. A sugestão consiste em ter roteiros didáticos, ou seja, bem explicativos para que o aluno consiga realizar as práticas propostas em tempo hábil e consiga entender o que está realizando. Propõe, ainda, que haja uma variedade de roteiros condizentes com o número de alunos matriculados na turma, pois a mesma será dividida em

grupos e em um segundo momento estas sub-turmas trocarão de experimento e conseqüentemente de roteiro, com o objetivo de fixar o que foi proposto. Por fim, há a entrega de relatórios semanais, contendo uma análise sistemática dos resultados obtidos.

Para que a referida proposta seja efetiva, Andrade, Diniz e Campos (2011) defendem que os alunos devam seguir para os laboratórios com conhecimentos anteriores bem formulados, com embasamento teórico e que as disciplinas laboratoriais devam ser ministradas posteriormente as teóricas. Caso as disciplinas teórica e prática sejam ministradas ao mesmo tempo, pode haver um defasamento entre as duas, fato comum de se acontecer, principalmente pela não comunicação entre os professores que ministram as matérias. Para um bom aprendizado laboratorial, o ambiente deve estar bem equipado, com instrumentos atualizados e que estes consigam fazer com que os alunos tenham contato com equipamentos de medição e softwares para cálculos específicos.

4.2 Bancada experimental de falhas

No que concerne ao projeto da bancada experimental de falhas, Loesch, Santos e Garcia (2012) projetaram uma bancada didática para a geração de falhas em sistemas de refrigeração. Esta bancada conta com o sistema de refrigeração completo contendo compressor, serpentina, condensador, fluido de refrigeração R-134a, sensores e todos os equipamentos necessários para que o sistema trabalhe de forma satisfatória em termos mecânicos. Os motores da bancada são todos elétricos e bifásicos, devido a baixa potência do sistema, a parte de acionamento e controle da bancada é predominantemente elétrica, exceto alguns poucos sensores como o pressostato, este acionado mecanicamente.

A referida bancada, dispõe, ainda, de painel elétrico de acionamento, localizado abaixo do sistema de refrigeração. É neste painel que ficam localizados os componentes da automação e proteção dos equipamentos, como controladores, relés, disjuntores e outros. A lógica de controle dos componentes é feita via CLP XC100 da marca EATON, as cargas são acionadas via contator, logo, neste sistema as partidas dos motores são todas feitas diretamente, sem nenhum tipo de chave. Ainda Loesch, Santos e Garcia (2012) em seu trabalho, deixam explícitos os diagramas de força e comando da bancada, exemplificando e detalhando seu funcionamento, fazendo com que a lógica da bancada seja de fácil entendimento.

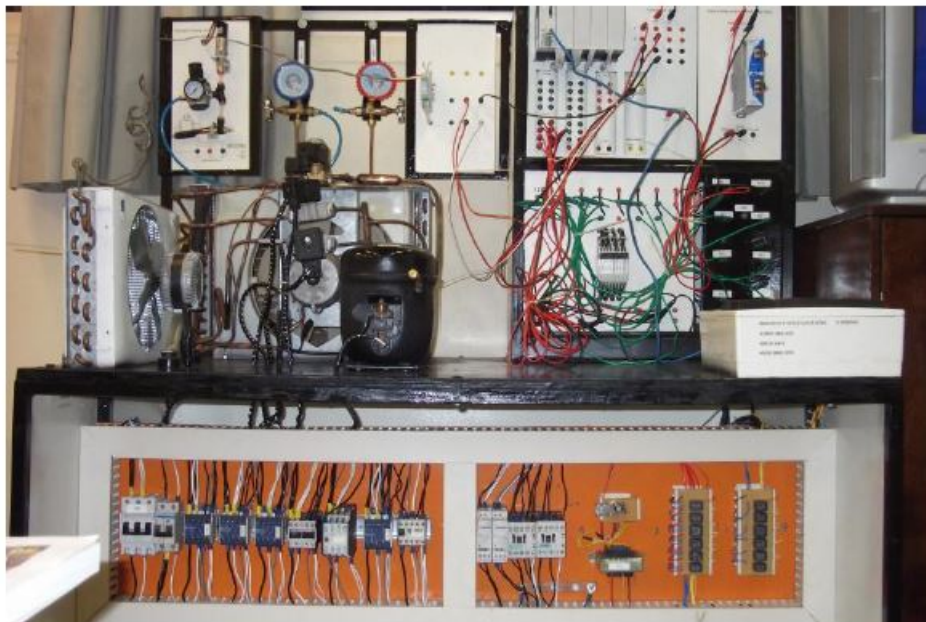
Um dos destaques da bancada é a organização das falhas, em que já estão previamente estabelecidas e para cada falha gerada o sistema tem uma resposta pré-determinada, seja fechando uma válvula ou recolhendo o gás para o reservatório automaticamente, ressaltando que este processo ocorre apenas quando o sistema está em modo automático. Outra característica interessante é que o operador da bancada tem a possibilidade de acionar todos os sistemas manualmente, logo, este tem a possibilidade de errar e aprender com este erro o que caracteriza a construção do conhecimento.

É possível perceber que nesta bancada as falhas giram em torno do sistema de refrigeração, não sendo voltadas para a parte elétrica de acionamentos, porém as falhas mecânicas são geradas a partir de comandos elétricos, e estes tornam o sistema o mais didático possível.

Sistemas elétricos tem sua automatização obtida mais facilmente, neste contexto, as falhas mecânicas na bancada são geradas a partir de comandos elétricos, evidenciando o caso da elevação da pressão neste sistema, onde basta apertar um botão que a solenoide fecha, obstruindo a passagem do gás e ocasionando a falha de elevação de pressão, ou até mesmo a falha de elevação de temperatura, gerada a partir da parada do ventilador do exaustor.

Neste contexto, componentes elétricos são utilizados para automatizar a bancada gerando falhas no sistema mecânico, em que o aluno irá avaliar as variáveis do sistema que estão sendo monitoradas, com objetivo de facilitar a sua análise sobre o sistema e este possa atuar de forma mais precisa, além de que o operador desta bancada obterá o conhecimento sobre o processo de refrigeração, este contido em miniatura na bancada. A seguir será mostrada a imagem que ilustra a bancada pronta.

Figura 2 – Bancada didática para geração de falhas em sistema de refrigeração



Fonte:Loesch, Santos e Garcia (2012)

Na instituição de ensino UTFPR (Universidade Tecnológica Federal do Paraná), o discente Bekoski (2019) desenvolveu uma bancada didática que simula defeitos em correias e desalinhamento entre polias, instalada no barramento de um torno mecânico desativado. O objetivo principal desta bancada é avaliar a magnitude da vibração através de sensores acoplados na mesma, esta variação é gerada quando se altera o aperto da correia de acoplamento, quando há o desalinhamento entre as polias podendo este ser paralelo, angular, e angular ao plano.

Em suma, este trabalho visou fornecer para a faculdade uma ferramenta laboratorial de análise de transmissão de potência via correia, podendo alterar parâmetros deste sistema, que irão contribuir para a validação de conhecimentos previamente discutidos de forma teórica. De acordo com o observado por Bekoski (2019), a bancada mostrou resultados práticos, em virtude da análise e simulação de defeitos em correias e desalinhamento nas polias.

Figura 3 – Bancada didática para simulação de defeitos em correias e polias



Fonte: Bekoski (2019)

Em contrapartida, bancadas comerciais como as projetadas pela WEG (2016), podendo ser observada pela Figura 4, não tem como objetivo principal simular as falhas ocorrentes no ambiente industrial e sim ensinar a utilizar as ferramentas industriais como *soft-startes*, inversores, contadoras, CLPs e etc. Existem alguns módulos disponíveis como o freio por corrente de focault, que são adquiridos à parte, com o objetivo de simular cargas no eixo do motor, propiciando a simulação de uma sobrecarga por exemplo, assim, o módulo de defeitos está associado às falhas no comando e não simula falhas elétricas como sobretensão, por exemplo.

Figura 4 – Bancada WEG



Fonte: WEG (2016)

5 PROJETO DA BANCADA DIDÁTICA

A proposta do painel de acionamento, é que este emule situações pré-definidas de falhas elétricas e de comandos, além de possibilitar que o aluno obtenha o conhecimento nos principais tipos de partida de motor elétrico de indução trifásico.

A didática imposta na bancada visa despertar a capacidade de interpretar um projeto elétrico industrial por parte dos discentes e, através desta interpretação fazer o uso de ferramentas de medição, com o objetivo de identificar a causa das falhas no painel elétrico e como solucioná-las.

A maioria das falhas serão simuladas via relé auxiliar inseridos no comando elétrico do painel de acionamento, acionados pelo microcontrolador ESP32, onde este estará conectado com o *smartphone* do docente, propiciando que este comando seja feito remotamente. Com o objetivo de aguçar a capacidade de entendimento do aluno em termos de projeto e peças elétricas, serão gerados dois tipos de diagrama elétrico da bancada, um contendo todos os componentes da bancada, incluindo os relés da ESP32 e outro omitindo a existência destes relés, no caso a segunda opção de diagrama que será entregue aos alunos.

A implementação da falha por sobrecarga, tem sua inserção um pouco mais delicada, pois é necessário acoplar uma carga elevada no eixo do motor, com o objetivo de elevar a corrente e o disjuntor motor atuar desativando a máquina. Para contornar esta dificuldade, teve-se a ideia de acoplar outro motor de indução trifásico como carga, este acionado por inversor fazendo o uso de resistor de frenagem. Implementado este sistema será possível simular o efeito de sobrecarga na segunda máquina que está partindo por sistema estrela/triângulo.

As falhas elétricas e de acionamento que podem ocorrer dentro do ambiente industrial são várias, logo a proposta deste trabalho é aludir as principais, buscando uma abordagem de forma mais didática possível, além de ambientar o aluno com equipamentos amplamente utilizados na indústria e não só de acionamentos, mas de medição também. As falhas abordadas nesta proposta de bancada são mencionadas resumidamente na Tabela 1.

Quadro 1 – Falhas abordadas pela bancada didática

Circuito	Tipo de acionamento/circuito	Especificações (circuito)	Aplicação didática na bancada	Aplicação na criação de falhas	Tipos de falhas (observadas pelo discente)
1	Inversor de frequência (circuito de força).	Inversor de frequência com resistor de frenagem e proteções contra curto-circuito e sobrecarga.	Aprender a parametrizar o equipamento e identificar/resolver falhas que este apresentar.	Auxiliar na geração da sobrecarga da segunda máquina via acoplamento.	Abertura da linha de comando da segunda máquina partida estrela/triângulo.
2	Partida direta e estrela/triângulo(circuito de força).	Partida direta e estrela triângulo, circuito de proteção contra curto-circuito e sobrecarga.	Aprender sobre partidas direta e estrela triângulo, fechamento de motor de 6 pontas.	Abertura da linha de comando que aciona a segunda máquina.	Sobrecarga, (Parada da segunda máquina).
3	Freio por corrente contínua.	Circuito destinado a frear a máquina via corrente contínua feita através de ponte retificadora de diodos.	Noções físicas da aplicação de um campo magnético estático na máquina e o que este fenômeno causa em termos práticos.		
4	Acionamento de resistor de aquecimento	Resistor acionado via relé com proteção por disjuntor.	Conhecer sobre o acionamento de cargas resistivas da maneira correta e com segurança.	Elevar a temperatura perto do PT100.	
5	Monitoramento do nível e sequenciamento das fases.	Nível e sequenciamento das fases monitorados via relé falta de fase.	Exemplificar o método de utilização deste relé e mostrar o que deve ser feito quando há uma falta de fase em um painel de acionamento.	Abertura da linha de comando de ambas as máquinas.	Simulação de uma falta de fase, subtensão e sobretensão, (paradas das duas máquinas).
6a	Circuito de comando das máquinas	Circuito que contém a lógica de acionamento dos componentes necessários para que os elementos de força do painel sejam ligados.	Obtenção de conhecimento na área de automação industrial via comandos elétricos.	De acordo com componentes previamente citados, este circuito de acionamento comanda as máquinas, propiciando seu controle e acionamento.	(Parada das máquinas).
6b	Circuito de comando das máquinas	Circuito que contém a lógica de acionamento manual da segunda máquina.	Possibilita que o docente avalie o discente, neste circuito é disponibilizado, o tipo de fechamento que vai ser feito na máquina e seu sentido de giro, ainda indicando falhas neste acionamento.		
6c	Circuito de comando das máquinas	Circuito que contém a lógica acionamento dos componentes necessários para que os elementos de força do painel sejam ligados.	Obtenção de conhecimento na área de automação industrial via comando elétricos.	De acordo com componentes previamente citados, este circuito de acionamento comanda as máquinas, propiciando seu controle e acionamento.	Parada das máquinas, (subtensão).
6d	Circuito de comando das máquinas	Circuito de indicação de sobrecargas e habilitação no acionamento do inversor por luz.	Apresentar a possibilidade na utilização de componentes diversos, como a fotocélula e interligando-a com o inversor.	Abertura da linha de start/stop do inversor conforme a incidência luminosa na fotocélula.	Parada da primeira máquina.
7	circuito de comando do inversor	Circuito que irá controlar o acionamento do inversor e indiretamente a velocidade da primeira máquina.	Exemplo de acionamento de máquinas de indução trifásicas com o inversor, com possibilidade de controle de velocidade via entrada analógica e ambientação dos alunos com seu respectivo manual.	Abertura da linha de comando da entrada analógica do inversor.	Indicação de erro no inversor.

Fonte: Autoria própria (2022)

A apresentação dos projetos será dividida em duas seções. A primeira apresentará o projeto inicial do painel elétrico de acionamento, contendo a parte de força e comando deste acionamento, contemplando as duas máquinas acopladas e componentes periféricos necessários para controlar esses motores. A segunda diz respeito ao projeto eletroeletrônico da placa ESP32 com suas proteções, sinalizações de erros e relés.

5.1 Projeto de força e comando dos acionamentos

Este projeto será apresentado em 4 (quatro) diagramas, contemplando as linhas de força e comandos elétricos do painel de acionamento. Este esquemático está dividido por circuitos de 1 a 7, sendo apresentados na Figuras 5 a 8. Após a apresentação dos diagramas será feita a explanação detalhada do funcionamento e objetivo de cada circuito deste painel no quesito acionamentos, didática e falhas.

Figura 5 – Folha 1 do projeto elétrico do painel

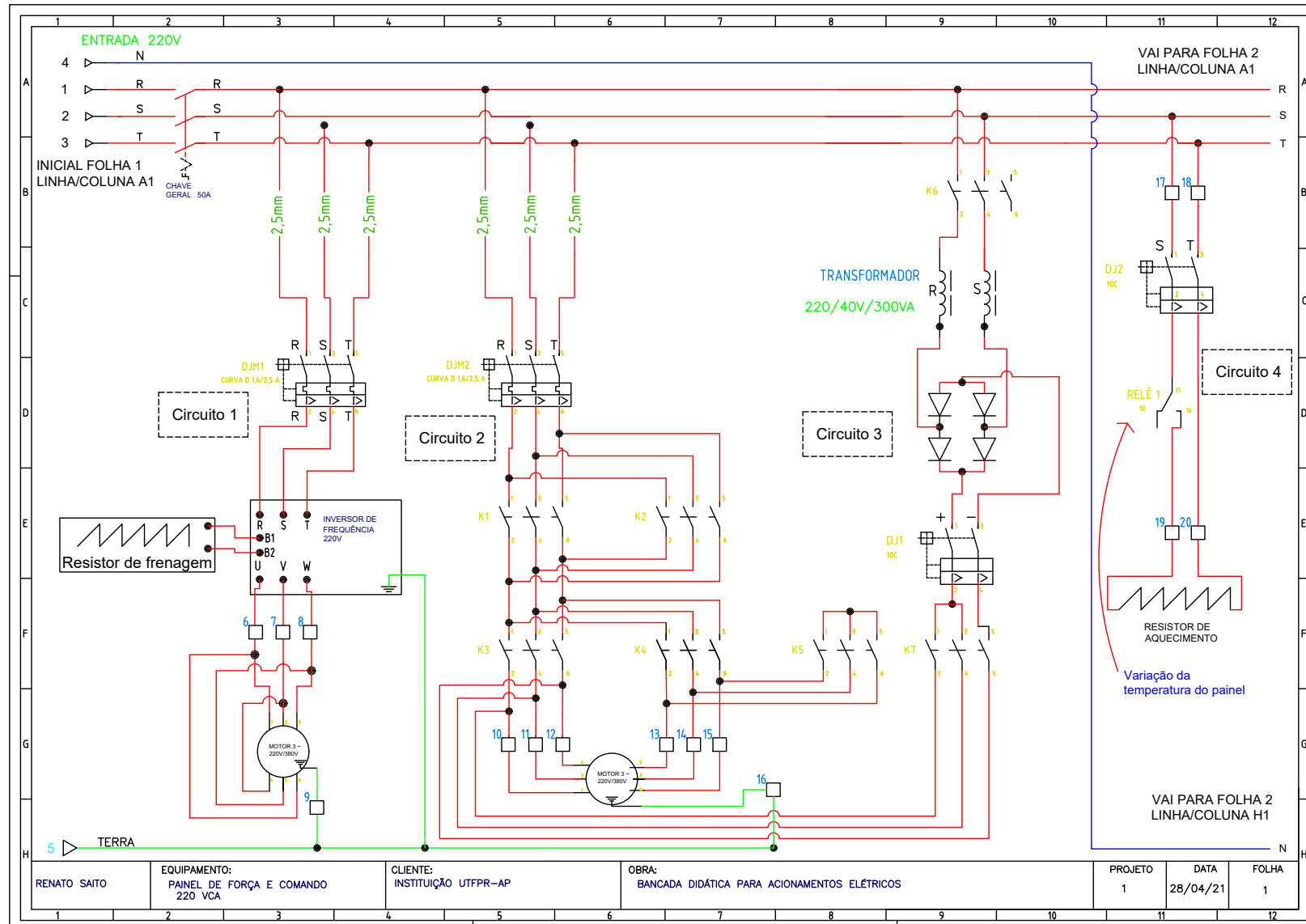
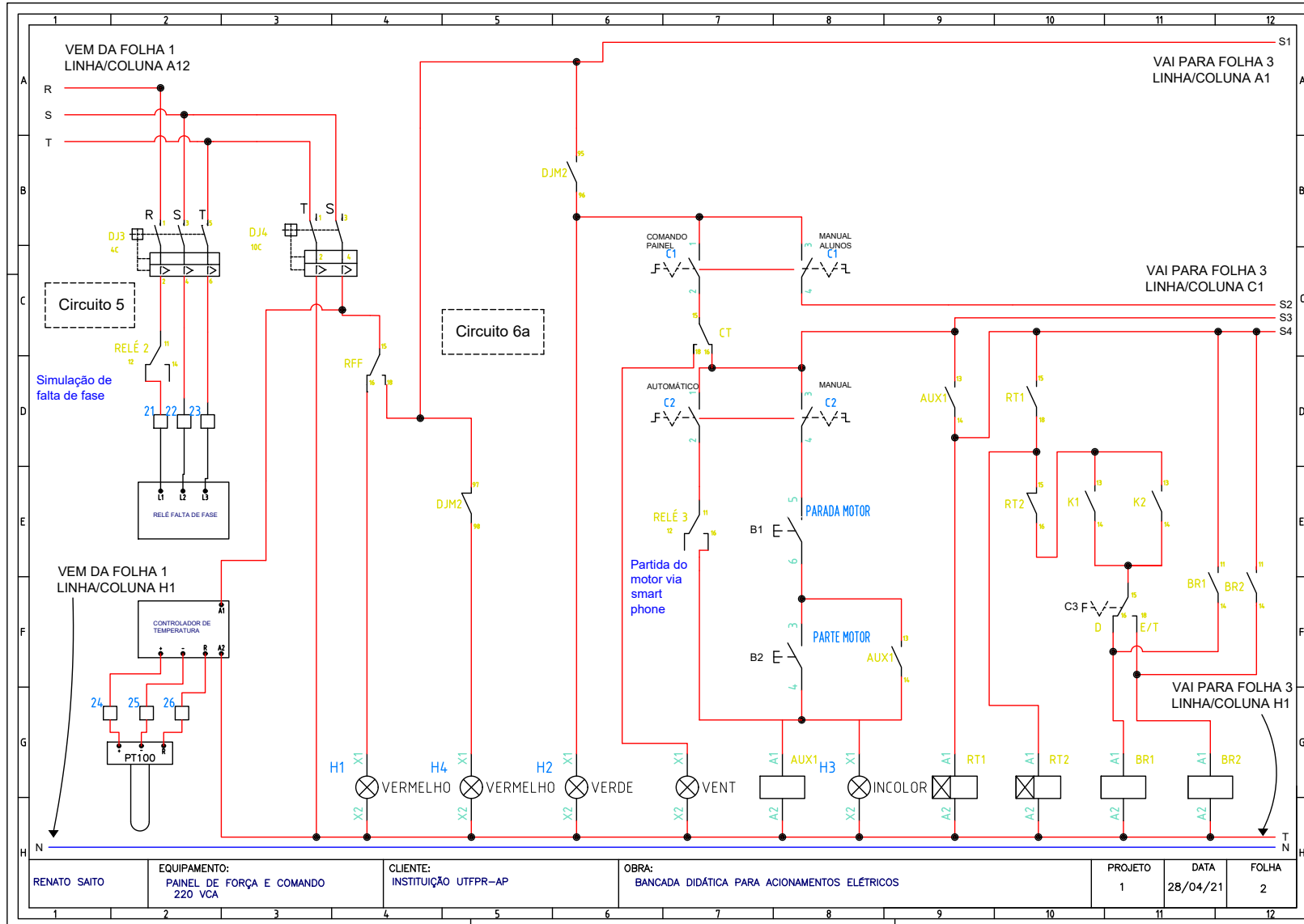


Figura 6 – Folha 2 do projeto elétrico do painel



Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 7 – Folha 3 do projeto elétrico do painel

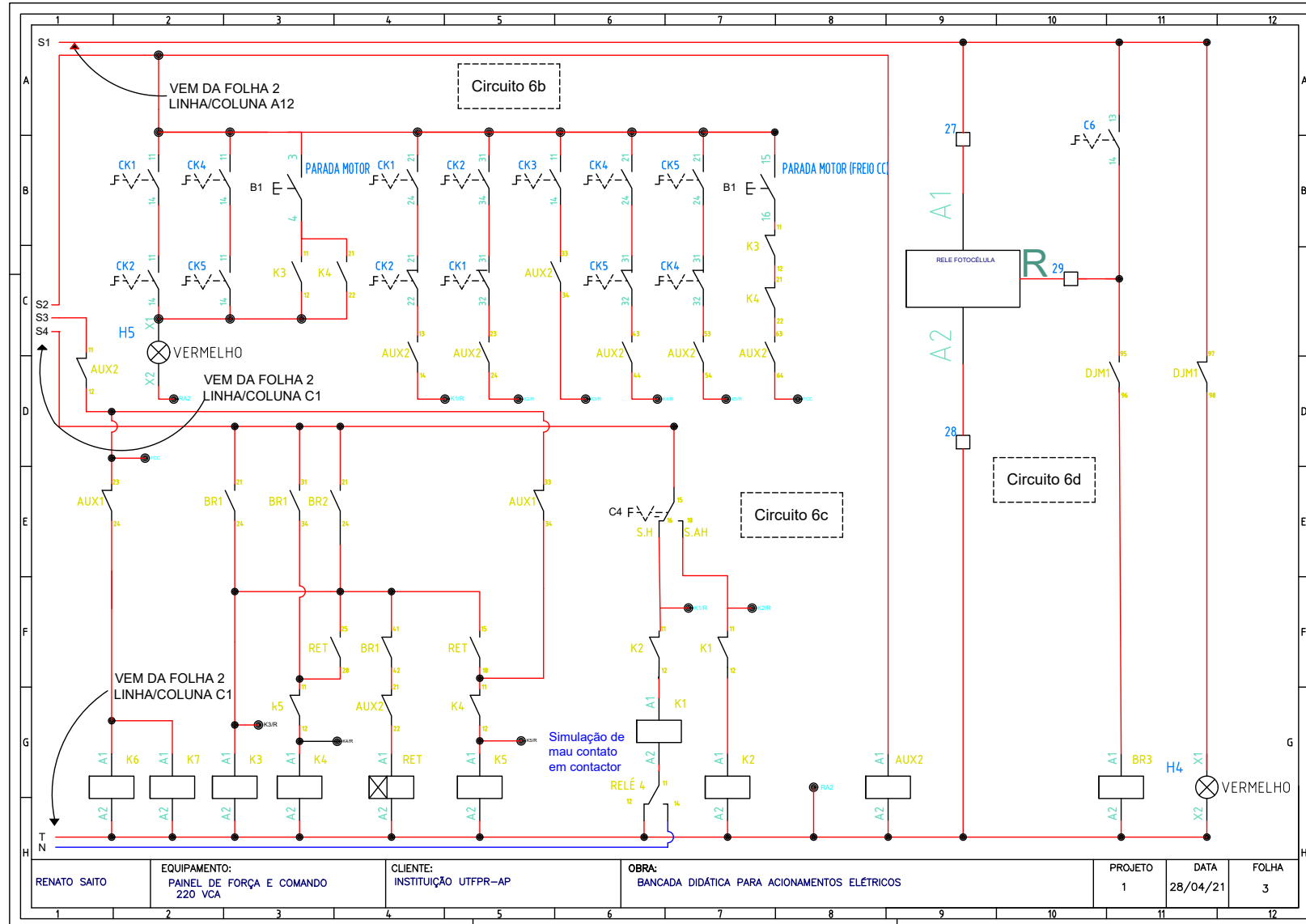
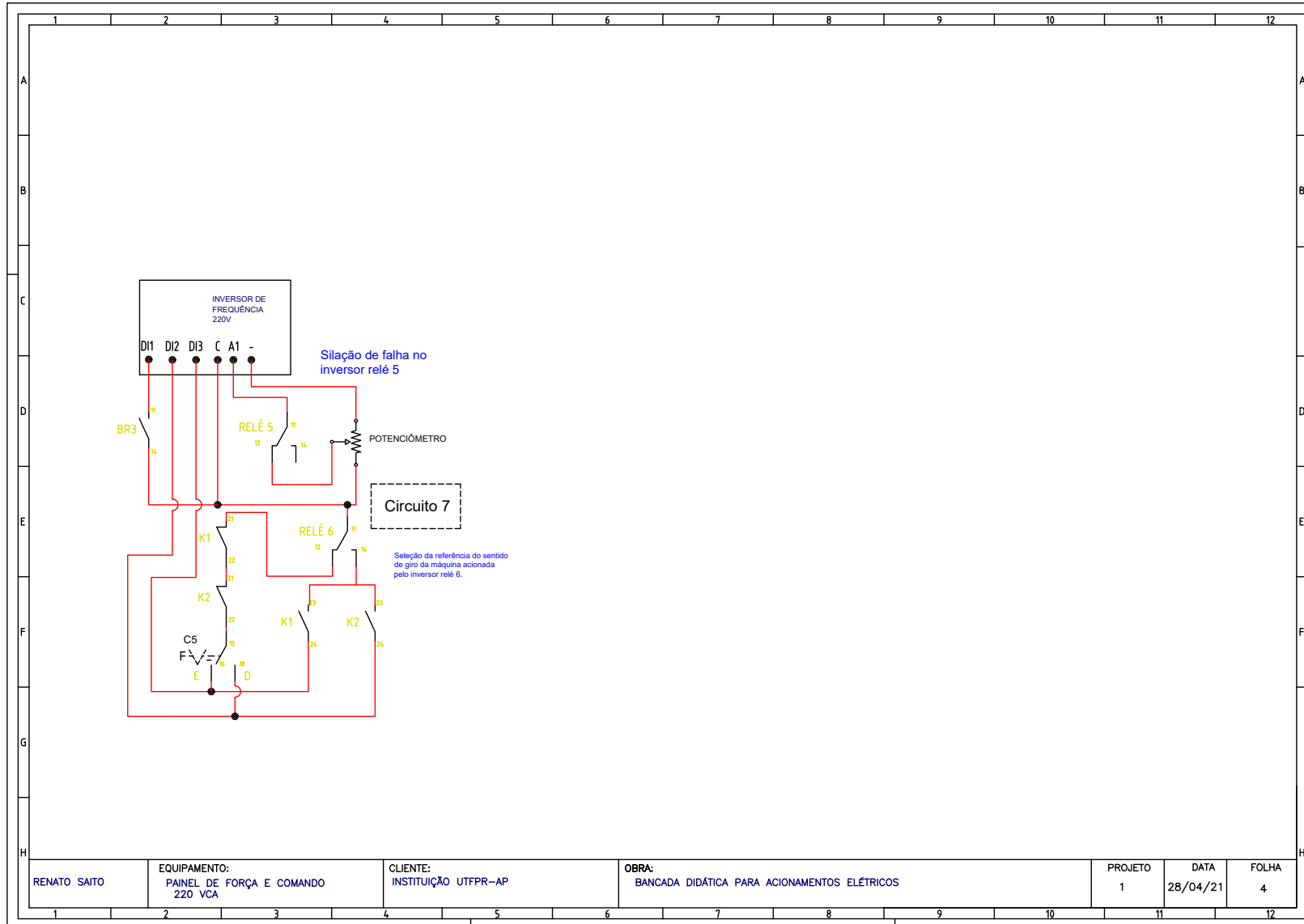


Figura 8 – Folha 4 do projeto elétrico do painel



5.1.1 Circuito 1

Este circuito é responsável pelo acionamento dos componentes de força da primeira máquina. O circuito 1 de acionamento conta com proteção contra sobrecarga e curto-circuito fornecido pelo disjuntor motor, além das proteções de sequenciamento, falta de fase, sobrecarga e sobretensão fornecidas pela chave de partida, no caso o inversor.

Como foi dito, a partida da máquina de indução trifásica é feita via inversor de frequência em conjunto com o banco de resistor de frenagem, possibilitando a alteração da velocidade da máquina e sua partida com pico de corrente reduzido, além de fornecer a opção em que a primeira máquina seja utilizada como carga no eixo da segunda.

Esta configuração inversor/banco de resistor, visa dissipar a potência gerada pelo inversor, quando a máquina 1 for ativada no mesmo sentido que a máquina 2, porém com uma velocidade menor que a 2, e o inversor for configurado com controle vetorial. O objetivo é impor um torque na máquina 2 e devido o estator da máquina 1 estar energizado pelo inversor de frequência o rotor terá tensão por indução, logo, caso este seja girado a uma frequência maior que a rede, no caso do inversor, a máquina se comportará como um gerador de energia, sendo necessário que seja dissipada pelo resistor de frenagem.

5.1.2 Circuito 2

O circuito 2 tem como finalidade partir a segunda máquina em várias configurações, no primeiro modo sendo manual, a partida pode ser direta com fechamento estrela ou triângulo, possibilitando também a reversão no sentido de giro. Já no segundo modo, este sendo automático, a partida estrela/triângulo é feita automaticamente via temporização imposta pelo relé de tempo. Em ambas as configurações é possível escolher o sentido de giro da máquina 2 via comutadora.

Este circuito, assim como o primeiro, tem sua proteção feita via disjuntor motor, dispositivo amplamente utilizado no meio industrial para proteção de máquinas elétricas. É válido ressaltar que esta partida, diferente da primeira, é feita via contadores de potência, artefatos que possibilitam estas lógicas de partidas diferenciadas. É válido ressaltar que, esta configuração de partida estrela/triângulo só é possível em motores de indução trifásicos que possuam as seis pontas das bobinas disponíveis para utilização na caixa de ligação.

A configuração manual e automático dará ao aluno a possibilidade de entender como este tipo de partida funciona, seus benefícios, características e formas de aplicação, além de proporcionar ao docente a capacidade de avaliar os discentes na configuração manual, já que os alunos serão convidados a realizar determinado tipo de partida via comutadoras.

5.1.3 Circuito 3

Este circuito tem como objetivo frear a segunda máquina via corrente contínua, obtida através da retificação das fases da rede e com seu nível rebaixado através do transformador. Esta diminuição tem como objetivo de reduzir a corrente de frenagem, já que na lógica de

acionamento, após a parada da máquina, esta corrente não será interrompida, mantendo o freio ativo. O circuito dispõe de disjuntor curva C, fornecendo proteção contra curtos-circuitos e sobrecarga.

A princípio, as máquinas acionadas por este projeto serão de baixa potência, logo, este circuito tem cunho didático, exemplificando os efeitos práticos da aplicação de um campo magnético estático em uma máquina de indução trifásica.

5.1.4 Circuito 4

O circuito 4 será responsável pelo acionamento do resistor de aquecimento, acionado pelo relé um da placa ESP32 e protegido por disjuntor curva C. Este circuito fornece experiência para os discentes no quesito de acionamento de cargas resistivas.

Com o propósito de monitorar a temperatura deste resistor há a implementação do PT100 para a medição desta temperatura, agregando ainda mais na formação do aluno, pois este terá o contato com controladores de temperatura que são amplamente utilizados dentro da indústria e além disso, aprenderão como programá-los e fazer manutenção neste tipo de equipamento.

5.1.5 Circuito 5

O circuito 5 é responsável pelo monitoramento do sequenciamento, nível e falta das fases no painel elétrico de acionamento. O circuito de alimentação do relé falta de fase é protegido via disjuntor trifásico curva C, seguindo normas de segurança.

Neste circuito será simulada a falha que diz respeito à falta de fase, sendo esta gerada via relé 2 da placa ESP32. Após o relé 2 abrir a alimentação do circuito de monitoramento da fase R do relé falta de fase, este irá comutar seu contato auxiliar indicando a falta de fase e abrindo a linha de comando principal da partida das máquinas. Esta abertura na linha de comando acarreta no desligamento das duas máquinas, possibilitando seu religamento apenas após o reestabelecimento da fase R no terminal de ligação do relé falta de fase.

5.1.6 Circuito 6a, 6c e 6d

Os circuitos de comando das máquinas e periféricos necessários para que estas sejam acionadas e controladas de forma eficaz. Dentro deste circuito está inserida a lógica do digital controlador que monitora a temperatura da resistência, lógica para que seja feito o acionamento das máquinas em manual ou automático, escolha do sentido de giro do motor dois e partida estrela/triângulo feita de modo automático.

Neste circuito também são inseridos os contatos das proteções, como o contato auxiliar do disjuntor motor que secciona a linha de força e comando, trabalhando de forma redundante. Aqui serão inseridos os dispositivos de entrada para o comando, no caso as botoeiras, comutadoras

e sinaleiros, que tem como objetivo de realizar esta interface homem máquina ou seja, receber o comando, realizar a tarefa e exibir status.

O aluno, após análise deste comando, ficará mais próximo do plano industrial, em vista de que todos os painéis de acionamentos contém comandos elétricos. O discente não receberá este projeto na hora de realizar a manutenção ou ao procurar uma falha no painel, ele irá receber um projeto secundário onde os relés da ESP32 não estejam inseridos.

Logo os discentes serão desafiados a encontrar o motivo da falha de acordo com o diagrama inicial que eles receberam, e, conseqüentemente descobrir a existência destes relés e quais falhas estes estão provocando dentro do painel. Será necessário entender o diagrama e saber utilizar as ferramentas disponíveis como, multímetro e manuais para entender as premissas anteriormente citadas. Como já mencionado, é essencial que o discente saia da graduação com uma carga de experiência nesta área, já que este é um ramo de grande abrangência e necessidade dentro da engenharia elétrica.

5.1.7 Circuito 6b

Esta ramificação do circuito 6 é de extrema importância didática, pois será através dela que o professor avaliará se os alunos estão obtendo o entendimento sobre a matéria de máquinas/acionamentos.

Este circuito dispõe de várias comutadoras de 2 posições (liga/desliga), em que cada uma delas acionará um dos contatores de potência que ativam a segunda máquina, por exemplo, para partir o motor no sentido horário com fechamento 220V é necessário que os contatores k1, k3 e k4 sejam acionados e conseqüentemente as comutadoras ck1, ck3 e ck4. Caso as comutadoras ck1 e ck2 sejam acionadas, haveria a ocorrência de um curto bifásico, falha severa que deve ser evitada, logo, neste circuito há a proteção para este ocorrido, e caso aconteça será evitado e sinalizado, reprovando a ação do discente.

5.1.8 Circuito 7

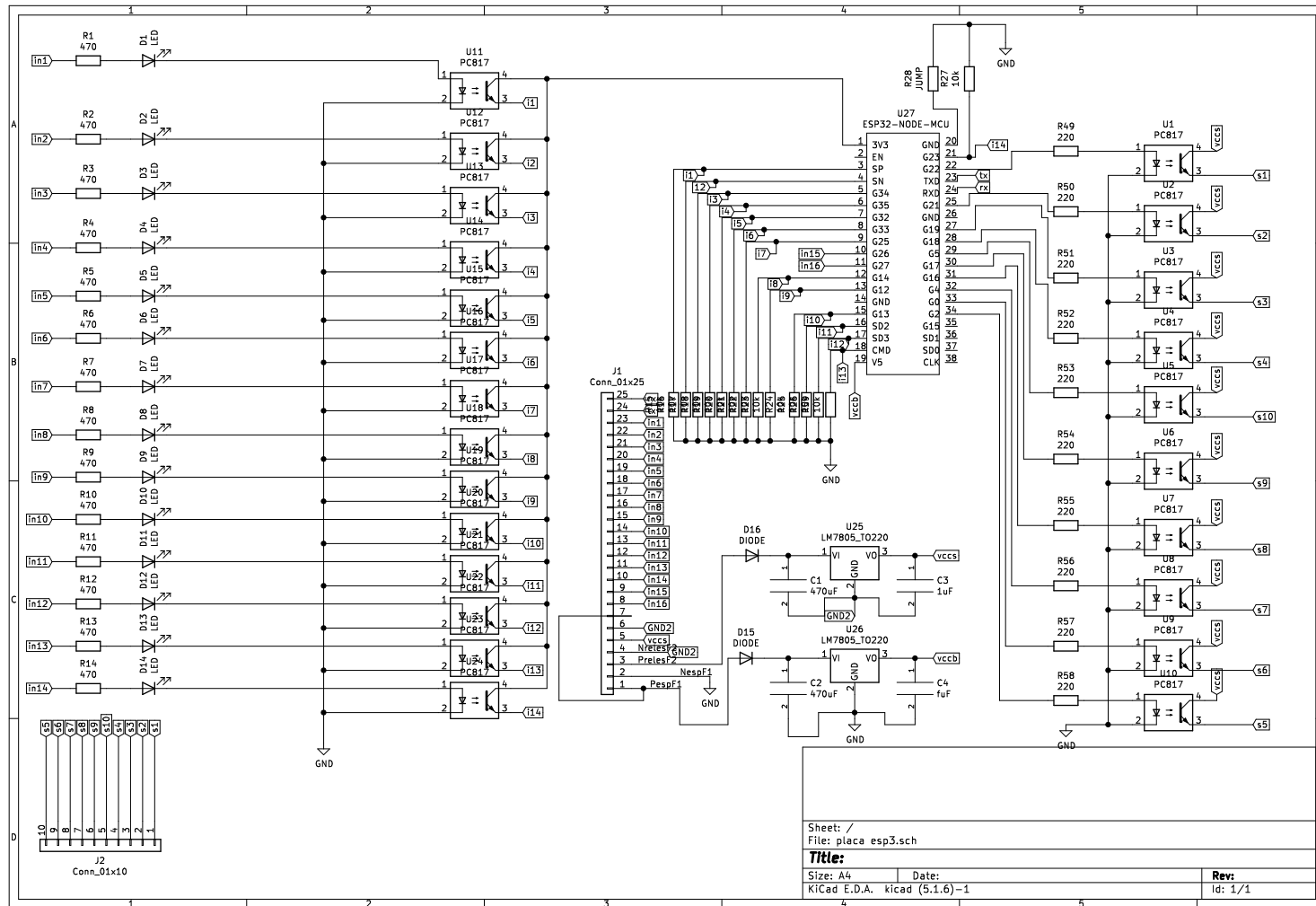
O circuito 7 tem como função comandar o inversor, acionando a máquina um e esta máquina impondo a sobrecarga na máquina dois. Dentro deste circuito está inserida a falha que irá gerar erro no inversor, produzida a partir da abertura do relé 5 da placa ESP32, que irá interromper a linha positiva comum da placa de controle do inversor. Após o inter rompimento desta linha, o inversor perderá sua referência positiva para o controle de velocidade, ocasionando o erro no equipamento e conseqüentemente a parada da máquina 1.

É neste circuito que a sobrecarga será comandada através do relé 6 da placa ESP32, este irá desabilitar o sentido de giro da máquina 1 via comutadora e habilitar o sentido de giro da máquina no mesmo sentido da máquina 2 através dos contatos k1 e k2 provenientes dos contatores de acionamento. Conforme a frequência de alimentação da máquina 1 seja diminuída, esta máquina diminui sua velocidade, logo, a máquina 2 irá movimentar a máquina 1, e este efeito

fará com que seja imposto um torque contrário no motor 2, por consequência será produzida a sobrecarga neste equipamento.

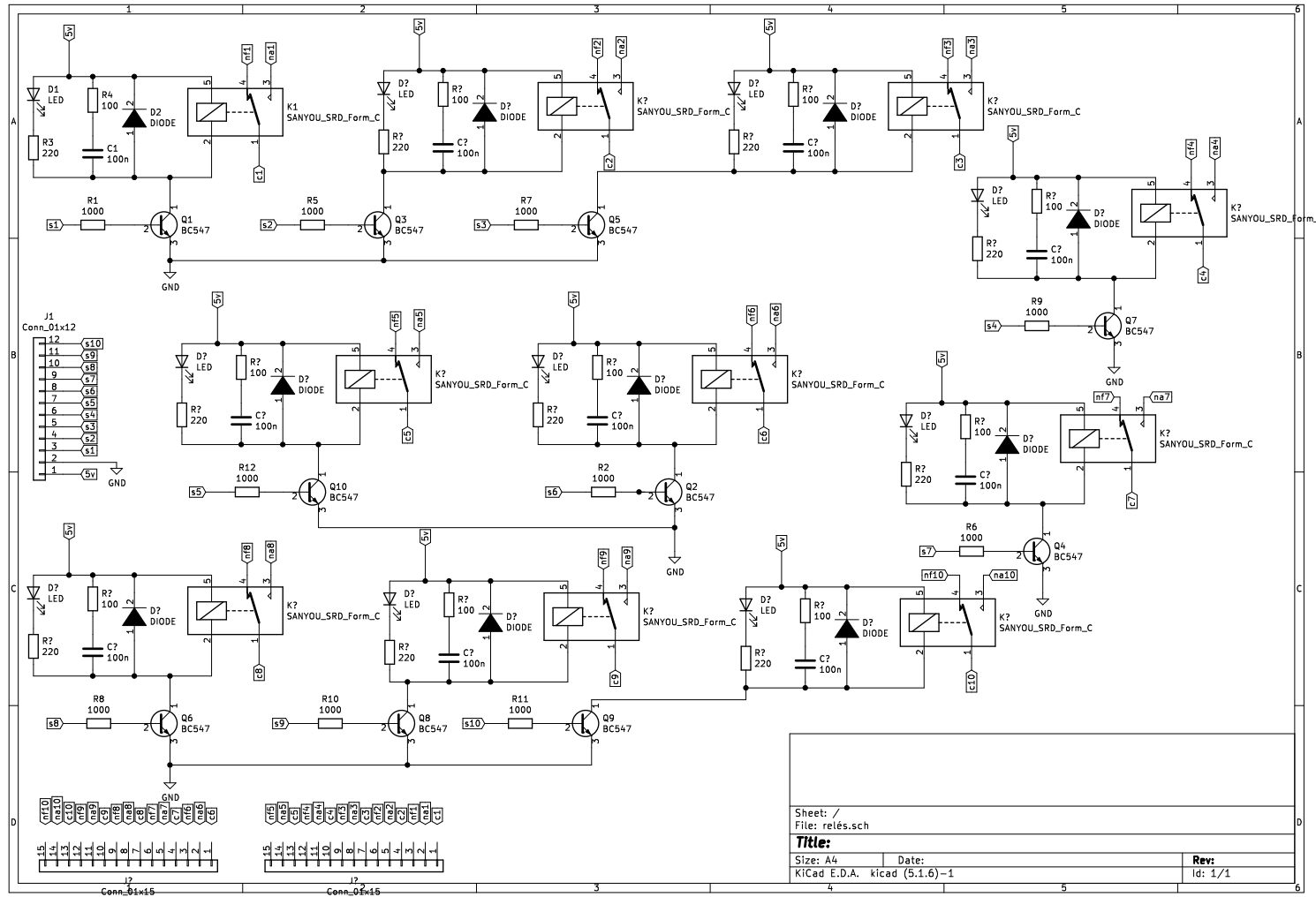
5.2 Projeto da placa eletroeletrônica contendo a esp32

Figura 9 – Projeto da placa com a ESP32 inserida



Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 10 – Projeto da placa contendo os relés de acionamento



Sheet: /
 File: relés.sch
Title:
 Size: A4 Date:
 KiCad E.D.A. kicad (5.1.6)-1 Rev:
 Id: 1/1

O projeto desta placa conta com duas etapas, ambas feitas no *software opensource kicad*. A primeira se trata do condicionamento do circuito para que a ESP32 seja inserida com segurança, em vista de que a alimentação é feita em 12VCC e suas entradas analógicas e digitais suportam até 3,3VCC. A segunda etapa refere-se ao projeto da placa que contém os relés de acionamento. O circuito de acionamento dos relés demanda de atenção especial, pois como são relés eletromagnéticos, ou seja, são indutores, o chaveamento destes componentes geram ruídos, que podem ser prejudiciais ao microcontrolador, levando-o a operar de forma indevida. A seguir o funcionamento dos componentes das placas serão explicados detalhadamente.

5.2.1 Placa de condicionamento da esp32

A placa de condicionamento das ESP32 conta com dois reguladores de tensão em sua entrada de alimentação, ajustando este parâmetro para 5 volts em corrente contínua, o regulador 1 será responsável pela alimentação dos relés e o regulador 2 pela alimentação de todo o circuito da placa em que a ESP32 está inserida.

Após o ajuste de tensão em 5 volts, ela é enviada para o circuito da ESP, assim, alimentando-a. Com a placa energizada, esta possui uma fonte interna que disponibiliza um nível de tensão em 3,3 volts, que será utilizado para estabelecer o nível lógico alto nas entradas digitais da mesma (GPIO). Para realizar este processo utilizou-se o optoacoplador, componente acionado via luz que garante o desacoplamento elétrico da entrada com a saída, possibilitando que a entrada de sinal lógico da placa pudesse ser feito em 12 VCC e, como dito anteriormente, a tensão que as GPIO experimentam são de 3,3 volts. Este equipamento tem como função proteger o circuito da ESP contra curtos circuitos, sobrecargas e erros de ligação, já que as entradas e saídas da placa não tem contato elétrico com o sinal 12 VCC, evitando possíveis erros de ligação. Outro benefício foi a possibilidade de se trabalhar com 12 VCC, garantindo assim um nível de tensão mais alto, podendo enviá-lo a distâncias maiores.

Por fim, nas saídas digitais do microcontrolador é empregado novamente o uso de optoacopladores. É importante a utilização destes componentes nas saídas do microcontrolador pois evitam a propagação de ruídos e sobrecarga em vista de que, a saída digital, da placa ESP está apenas acionando um LED e este comanda o acionamento do transistor, enviando o sinal de acionamento para a placa de relés, e esta aciona a carga. É válido ressaltar que, ambas as entradas e saídas da placa ESP foram implementados LED's de sinalização, artifício que facilita a identificação de erros em manutenções.

5.2.2 Placa de relés auxiliares de acionamento

O circuito de acionamento dos relés irá receber o sinal de acionamento proveniente da placa que contém a ESP32 e alimentação em 5VCC, caracterizando a configuração mestre/esravo, em que o mestre é a placa ESP32 e o escravo é a placa dos relés. A placa que contém os relés, dispõe de circuitos que atenuam a propagação de ruídos gerados pelo chaveamento dos indutores.

Em relação à potência, foram utilizados transistores em cascata com os optoacopladores para a energização das bobinas dos relés. Essa cascata visa a proteção dos optoacopladores, pois são componentes mais sensíveis que os transistores, e, em um possível mau funcionamento do sistema, a ideia é que o transistor seja afetado devido ao seu custo e facilidade na manutenção.

O circuito de atenuação de ruídos é formado pelo conjunto Resistor e Capacitor (RC), atuando em paralelo com o diodo de roda livre. O circuito RC atenua ruídos de alta frequência devido a característica do capacitor e o diodo de roda livre fornece um caminho para essa corrente que contém estes surtos de tensão circule. O objetivo principal deste diodo é fazer com que a corrente que contém estes surtos não sejam propagadas para lugares indevidos, como as entradas e saídas do microcontrolador, por exemplo. Caso estes fenômenos eletromagnéticos atinjam o microcontrolador é possível que ele opere de forma indevida no sistema, podendo danificar componentes que estão sendo controlados pelo microcontrolador.

6 DIMENSIONAMENTO DOS COMPONENTES DA BANCADA

Neste capítulo será feito o dimensionamento dos componentes de acionamento e proteção de uma máquina de indução trifásica WEG W22 PLUS, onde serão especificados: os disjuntores, contadores, relés de sobrecarga e cabos de ligação.

6.1 Contadores de partida da máquina 2

A princípio, de acordo com a figura 11 é possível fazer-se a partida das máquinas de forma direta, tendo em vista de que essas serão ambas de 0,5 CV. Porém, para fins didáticos serão dimensionados os contadores da partida estrela triângulo. A seguir será explanada a equação que irá contemplar a corrente dos contadores K1, K2, K3, K4 e K5.

$$I_n = 1,59A \quad (1)$$

Considerando o fator de serviço, tem-se:

$$IK1 = IK2 = 1,25 \cdot I_n \approx 2A \quad (2)$$

$$IK3 = IK4 = \frac{1,25 \cdot 1,59}{2} \approx 1A \quad (3)$$

Figura 11 – CATALOGO WEG

W22 IR3 Premium

Potência		Carcaça	Conjugado Nominal (kgfm)	Corrente com Rotor Bloqueado Ip/In	Conjugado de Partida Cp/Cn	Conjugado Máximo Cmáx/Cn	Momento de Inércia J (kgm²)	Tempo máximo com rotor bloqueado (s)		Massa (kg)	Nível médio de pressão sonora dB(A)	Fator de Serviço	RPM	% de Carga						Tensão (V)	Corrente Nominal In (A)
kW	HP							Rendimento						Fator de Potência			Quente	Frio			
								50	75					100	50	75			100		
II Polos																					
0,12	0,16	63	0,034	6,6	3,5	4	0,00012	12	26	5,7	56	1,25	3460	50	58	62	0,48	0,6	0,68	220	0,747
0,18	0,25	63	0,051	6	2,8	3	0,00014	10	22	6,2	56	1,25	3425	55	62	65,6	0,54	0,66	0,75	220	0,96
0,25	0,33	63	0,071	5,9	3,1	3,2	0,00016	20	44	6,7	56	1,25	3410	64	69	69,5	0,58	0,71	0,8	220	1,18
0,37	0,5	63	0,107	5,8	2,5	2,5	0,0002	17	37	8,2	56	1,25	3360	69	73	73,4	0,62	0,75	0,83	220	1,59
0,55	0,75	71	0,156	6,3	2,4	2,8	0,0004	8	18	10,9	60	1,25	3440	72,5	75,5	76,8	0,63	0,76	0,83	220	2,26
0,75	1	71	0,213	6,6	3	3,3	0,00051	10	22	11,7	60	1,25	3435	77	80	80,5	0,64	0,76	0,84	220	2,91
1,1	1,5	L80	0,311	8,4	3,8	3,6	0,00109	19	42	15,5	62	1,25	3450	81	84	84	0,64	0,76	0,83	220	4,14
1,5	2	L80	0,427	7,8	3,8	3,6	0,00103	16	35	16	62	1,25	3425	84	85	85,5	0,68	0,79	0,85	220	5,42
2,2	3	L90S	0,618	7,8	3,4	3,1	0,00233	13	29	23,5	68	1,25	3470	86	86,5	86,5	0,69	0,8	0,85	220	7,82
3	4	L90L	0,843	8,2	4,2	4,1	0,00277	11	24	23	68	1,25	3465	87	88	88,5	0,62	0,75	0,82	220	10,8
3,7	5	100L	1,03	8,2	2,7	3,9	0,00638	8	18	32,7	71	1,25	3510	86,4	88,3	88,5	0,69	0,8	0,86	440	6,38
4,5	6	112M	1,25	7,6	2,2	3	0,00803	12	26	42,4	66	1,25	3500	87	88	88,5	0,74	0,83	0,87	440	7,67
5,5	7,5	112M	1,52	8,2	2,8	3,5	0,00945	9	20	45,7	66	1,25	3515	87,9	89,4	89,5	0,64	0,76	0,83	440	9,72
7,5	10	132S	2,07	8,1	2,5	3,4	0,02159	12	26	66,6	68	1,25	3530	88,2	89,9	90,2	0,74	0,83	0,87	440	12,5
9,2	12,5	132M	2,54	8,1	2,5	3,4	0,02689	10	22	74	68	1,25	3530	89,6	90,8	91	0,76	0,85	0,89	440	14,9
11	15	132M/L	3,03	8,4	3,4	3,9	0,03048	13	29	88	68	1,25	3535	89,6	90,5	91	0,71	0,81	0,86	440	18,4
15	20	160M	4,13	7,6	2,7	3,2	0,04259	12	26	115	72	1,25	3540	90	90,8	91	0,74	0,83	0,87	440	24,9
18,5	25	160M	5,08	8,3	3	3,5	0,06263	9	20	119	72	1,25	3545	91	91,5	91,7	0,72	0,82	0,87	440	30,4
22	30	160L	6,04	9	3,4	4	0,07	8	18	131	72	1,25	3550	91	91,5	91,7	0,7	0,8	0,86	440	36,6
30	40	200M	8,21	6,7	2,8	2,9	0,17027	18	40	219	76	1,25	3560	91,5	91,7	92,4	0,74	0,83	0,86	440	49,5
37	50	200L	10,1	7,6	3,2	2,9	0,21283	14	31	265	76	1,25	3560	92	92,4	93	0,75	0,83	0,86	440	60,7
45	60	225S/M	12,3	7,8	2,2	2,9	0,29909	12	26	393	79	1,25	3560	91,8	93	93,6	0,76	0,83	0,86	440	73,4
55	75	225S/M	15	7,9	3	3,5	0,3251	12	26	423	79	1,25	3565	92,3	93,5	93,6	0,8	0,86	0,89	440	86,6
75	100	250S/M	20,5	8,9	3,2	3,8	0,43661	12	26	500	79	1,25	3570	92,5	93,6	94,1	0,76	0,84	0,87	440	120
90	125	280S/M	24,5	7,7	1,8	2,7	1,06645	20	44	747	81	1,25	3575	92,8	94,3	95	0,78	0,85	0,88	440	141
110	150	280S/M	30	7,5	2	2,7	1,15532	15	33	753	81	1,25	3575	93,5	94,5	95	0,8	0,86	0,89	440	171
132	175	315S/M	36	7,4	2	2,8	1,73847	22	48	906	81	1,25	3575	93,6	95,2	95,4	0,8	0,86	0,89	440	204
150	200	315S/M	40,8	7,7	2,1	2,9	2,10568	15	33	975	81	1,25	3580	93,5	94,8	95,4	0,77	0,85	0,88	440	234
185	250	315S/M	50,3	7,7	2,5	3	2,4691	22	48	1053	81	1,25	3580	95,3	95,7	95,8	0,8	0,87	0,89	440	285

Fonte:(WEG, 2021)

No fechamento triângulo tem-se as seguintes relações de tensão e corrente:

$$V_L = V_\phi \quad (4)$$

$$I_L = \sqrt{3} \cdot I_\phi \quad (5)$$

Já no fechamento estrela tem-se as seguintes relações:

$$V_L = \sqrt{3} \cdot V_\phi \quad (6)$$

$$I_L = I_\phi \quad (7)$$

O desenvolvimento das equações com o objetivo de estabelecer uma relação entre as impedâncias quando o circuito é ligado em delta ou triângulo serão mostradas a seguir.

$$R_\Delta = \frac{V_\phi}{\sqrt{3} \cdot I_\phi} = R_Y = \frac{\sqrt{3} \cdot V_\phi}{I_\phi} \quad (8)$$

$$R_\Delta = \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{3}} \cdot \frac{V_\phi}{\sqrt{3} \cdot I_\phi} \quad (9)$$

Logo,

$$R_Y = 3 \cdot R_\phi \quad (10)$$

A impedância experimentada pelo circuito em estrela é três vezes maior que a triângulo, como $V = R \cdot I$, tem-se que a corrente no contator K5 será $\frac{1}{3}$ da corrente nominal (I_n). Logo, esta corrente possuirá um valor de 0,66A.

Como visto, a corrente do circuito é pequena, logo, contatores de força com baixas capacidades podem ser utilizados. Comercialmente a faixa de valores encontrada para esta aplicação seriam de 10 a 12 ampere. Para a proteção da máquina, pode-se utilizar as configurações seccionadora com fusível em conjunto com o relé de sobrecarga, e em máquinas de pequeno porte costuma-se utilizar disjuntores curva C superdimensionados para proteção de curto-circuito em conjunto com o relé térmico para proteção de sobrecarga.

Outra possibilidade está no disjuntor motor curva D, este é preparado para atuar por curto-circuito e sobrecarga. Devido a baixa potência das máquinas contidas na bancada, o disjuntor motor foi escolhido para fornecer as proteções às máquinas. O disjuntor motor, assim como o relé sobrecarga, devem possuir uma regulação de corrente ligeiramente superior a nominal, considerando o fator de serviço, neste caso 2A.

6.2 Inversor e resistor de frenagem

No que diz respeito ao inversor, o equipamento utilizado deve suportar a corrente de um motor de 0,5 cv em 220 volts. A potência trifásica para o cálculo da corrente do motor é dada por:

$$I = \frac{0,5 \cdot 736}{\sqrt{3} \cdot V \cdot f_p \cdot n} = 1,68 \text{ A} \quad (11)$$

Onde,

- V= tensão de linha da máquina
- fp= Fator de potência da máquina
- n= Rendimento da máquina

Para cálculo da corrente foram utilizados os valores de fator de potência de 0,83 e rendimento igual a 0,69, de acordo com a Figura 11. Porém, os valores de corrente encontrados para estes equipamentos comercialmente são de 2,6 A. O valor do resistor de frenagem será utilizado de acordo com o indicado no manual do fabricante do mesmo.

6.3 Freio por corrente contínua

Em geral, aplica-se entre 15% a 22% da tensão nominal da máquina de indução trifásica, em corrente contínua para realizar a frenagem da mesma. Este nível de tensão deve ser reduzido, pois como não há os efeitos da reatância indutiva no modelo elétrico, essa componente em série perde seu efeito, reduzindo assim consideravelmente a impedância final dos enrolamentos de estator da máquina. Outro fator que deve atentar-se é que esta corrente CC irá parar a máquina, logo sua refrigeração também cessará, fator que é extremamente prejudicial à máquina.

Com base nessa premissa de projeto, pode-se definir a tensão do transformador, esta que tem seu valor em 40 V, aproximadamente 18% da tensão nominal da máquina, assim, atendendo o requisitado anteriormente. Como a tensão foi reduzida, utilizando a lei de ohm diz que a corrente sofrerá uma redução proporcional de acordo com valor de tensão, logo, de acordo com a equação (12), obtêm-se o valor da corrente.

$$I = \frac{40 \text{ V}}{220 \text{ V}} \cdot 1,59 = 0,2890 \text{ A} \quad (12)$$

Novamente, fazendo o uso da lei de ohm, chega-se no valor de potência de,

$$P = 40 \text{ V} \cdot 0,2890 \text{ A} = 11,56 \text{ VA} \quad (13)$$

Este valor irá implicar diretamente no preço e tamanho do transformador, logo é imprescindível que seja feito o cálculo de potência do circuito de frenagem por corrente CC da máquina.

6.4 Resistor de aquecimento

Utilizando as leis de Joule a seguir será dimensionado o resistor de aquecimento que será empregado no painel, este que tem como função gerar uma falha no painel elétrico. Vale ressaltar que, como o resistor de aquecimento será ligado pelo relé da ESP é de extrema importância que os parâmetros de corrente não sejam ultrapassados, com o objetivo de manter a integridade do relé.

As premissas do projeto são:

- $V = 220V$
- $m = 260g$ (equivalente $0,2 \cdot m^3$ de ar)
- $c = 0,24 \frac{cal}{g \cdot ^\circ C}$

Sabendo que,

$$E_{el} = P \cdot \Delta t \quad (14)$$

$$E_{el} = Q \quad (15)$$

e que,

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta t \quad (16)$$

tem-se,

$$P = m \cdot c \quad (17)$$

$$P = 62,4 \cdot \frac{cal}{^\circ C} \quad (18)$$

$$1 \cdot \frac{cal}{hora} = 1,2 mW \quad (19)$$

$$1 \cdot \frac{cal}{s} = 1,2mW \cdot 60 \cdot 60 = 4,32 W \quad (20)$$

$$1 \cdot \frac{cal}{10 \cdot s} = 0,432 W \quad (21)$$

Logo, tendo como vislumbre elevar 260g de ar em 5 graus Celsius, de acordo com a equação (18), obtêm-se uma quantidade de energia de 312 calorias. Sabe-se que, 1 Caloria por hora é igual a 1,2 mW, utilizando como referência a equação (20), obteve-se o valor de 4,32 W. Utilizando a equação (21), previamente estabelecida, para gerar 312 calorias em 10 segundos, basta multiplicar 312 por 0,432 encontrando uma potência de 134,784 W.

Com o propósito de encontrar o valor de corrente que irá fluir sobre esse resistor, além do valor da resistência, utiliza-se a lei de ohm exemplificada a seguir.

$$V = R \cdot I \quad (22)$$

$$P = V \cdot I \quad (23)$$

Logo,

$$I = \frac{P}{V} = \frac{134,784}{220} = 0,6126 \text{ A} \quad (24)$$

6.5 Dimensionamento dos cabos

Como exemplificado nos dimensionamentos anteriormente executados, a corrente que os equipamentos experimentarão são pequenas devido a baixa potência dos componentes elétricos empregados na bancada, isso ocorre pelo objetivo desta que é a didática. Porém, todos os cálculos precedentes estão no dia a dia do profissional que atua na área industrial.

Logo, com base nessas correntes e utilizando a norma NBR 5410 aplicou-se o método da secção mínima para dimensionar os cabos de alimentação do painel, estes que contemplam os circuitos de força e comando. De acordo com a ABNT (2005), na seção 6.2.6.1.1, indica que circuitos de sinalização e controle devem ser empregados com condutores de cobre com diâmetro de $0,5 \text{ mm}^2$. No que tange o circuito de força, a norma NBR 5410, estabelece a secção dos cabos em $2,5 \text{ mm}^2$ também em cobre. Ainda, segundo a ABNT (2005), no item 6.4.3.1.3 em instalações onde a secção do cabo de alimentação seja inferior a 16 mm^2 o condutor de aterramento deve ter mesma bitola dos cabos que conduzem as fases.

Contudo, nos termos das normas ABNT, todo o circuito de força do painel de acionamento, que contempla entrada de serviço e circuitos de partida das máquinas, deve ser utilizado cabos $2,5 \text{ mm}^2$ de preferência com cores diferentes, sendo amarelo para a fase R, branco para a fase S, vermelho para a fase T, azul para o neutro e verde para o terra. No que diz respeito aos circuitos de sinalização e comando devem ser empregados cabos $0,5 \text{ mm}^2$, não há um padrão de cor a ser seguido nesta etapa, porém o bom senso e organização nos conduz a diferenciar o circuito dos bornes A2 dos componentes de acionamento. Assim, de acordo com experiências práticas, utiliza-se para o circuito de A2 cabos em cor azul e para o circuito do A1 aplica-se cabos na cor preta, todos com $0,75 \text{ mm}^2$, mantendo-se acima do que diz a norma, já que, esta enuncia o mínimo a ser utilizado.

7 ORÇAMENTO

Inicialmente, previamente ao orçamento, fez-se o levantamento quantitativo e dimensionamento das peças e equipamentos elétricos, já que, o fator potência e consequentemente valor de corrente tem extrema influência nos custos dos equipamentos elétricos. Com estes dados de corrente das peças em mãos, avançou-se para a próxima etapa, esta que diz respeito ao orçamento propriamente dito dos componentes.

O cômputo das peças que irão compor o painel de comando e força da bancada didática, baseou-se em três grandes marcas do ramo industrial, estas que são ABB, SIEMENS e WEG. Os métodos para executar o levantamento dos preços das peças foram contato telefônico com distribuidores e comparação de preços com sites de vendas pela internet, como por exemplo o MERCADO LIVRE, empresa grande neste ramo. Com esse feito, na tabela 1, consta os dados resumidos obtidos, proveniente do orçamento realizado. No APÊNDICE A, consta o orçamento detalhado, este possuindo descrição e quantitativo de todos os componentes, por fabricante.

Tabela 1 – Orçamento

	TOTAL PEÇAS	CONSUMÍVEIS	CONSUMÍVEIS + TOTAL PEÇAS
ABB	R\$ 7.151,40		R\$ 8.739,40
SIEMENS	R\$ 6.638,40	R\$ 1.588,00	R\$ 8.226,40
WEG	R\$ 5.110,40		R\$ 6.698,40

Fonte: Autoria própria (2022)

Com base nos números, é possível verificar que o preço mais em conta se deu pela marca WEG, porém alguns componentes da mesma são mais caros que os das suas concorrentes como por exemplo os contatos auxiliares de seus contatores. O ideal seria mesclar os componentes das marcas no painel, visando os menores preços, já que, todas as marcas são de extrema qualidade.

Com a ideia de manter um padrão de peças contidas no painel, é possível manter os componentes de uma fabricante só, fator que traz benefícios como facilitação de reposição de equipamentos, melhoria de estética do painel e obtenção de um possível desconto, com o argumento da compra em grande quantidade.

8 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO ELÉTRICO E PROGRAMAÇÃO DA ESP32

Nesta seção serão explanadas, as ideias que surgiram para a futura implementação prática do painel elétrico. Tais projeções ocorrem em termos de layout, considerando manuais de fabricantes e cotas reais de peças, de acordo com o dimensionamento previamente feito, no quesito quantidade e robustez.

Em relação as placas eletrônicas serão brevemente citados os componentes utilizados, assim como seu funcionamento e utilidade para o circuito eletrônico da placa, além de software utilizado e métodos executados para a construção desta.

8.1 Projeção do painel

Posteriormente ao dimensionamento das peças, estimou-se o tamanho do painel. A respectiva estimativa atingiu níveis de precisão aceitáveis, graças aos modelos 3D das peças, disponíveis no site da Organization (2022). As grandes fabricantes disponibilizam seus modelos neste acervo, o que facilita a estimativa de tamanho e desenho de componentes e painéis elétricos.

Com os modelos 3D e quantitativo de componentes em mãos, efetuou-se a distribuição das peças no desenho 3D, com o software SOLID WORKS, simulando uma placa de montagem, atendendo também o espaço livre para a alocação das placas eletrônicas. O esboço foi feito respeitando os espaçamentos entre peças e canaletas, essas que já haviam sido definidas de acordo com o montante de circuitos, com suas respectivas bitolas, sempre com o objetivo de aproximar ao máximo o modelo simulado com a realidade. Após o desenho interno da placa ter sido efetuado, o esquema da caixa foi gerado, novamente inserindo o máximo de detalhes possíveis, como por exemplo as dobradiças, dimensões de chapas, essas que possuem 4 mm e também os furos que seguram a chapa de fixação das peças e roscas que fazem parte destas.

Com a inserção de todos os detalhes, cotas, equipamentos elétricos e canaletas no esboço, como resultado obteve-se o tamanho da caixa, este assumindo os valores: 1000x800x300mm de altura, largura e profundidade respectivamente. O modelo 3D plotado é disponibilizado no APÊNDICE B.

8.2 Execução do projeto das placas eletrônicas

Com os esquemáticos prontos, estes contidos nas figuras de projetos 9 e 10, uma vez mais, utilizou-se o *software kicad* para gerar a *printed circuit board* (PCB). Essa execução deve ser feita com cuidado, respeitando conceitos básicos de eletrônica, como: reduzir ao máximo o tamanho das trilhas; evitar curvas 90° na mesma; executar um bom plano de terra com o objetivo de reduzir as emissões eletromagnéticas; inserir capacitores de desacoplamento e de filtro, estes devem estar perto dos receptores de tensão dos componentes; fazer o casamento das impedâncias para que haja a maior transferência de potência possível; separar o circuito que

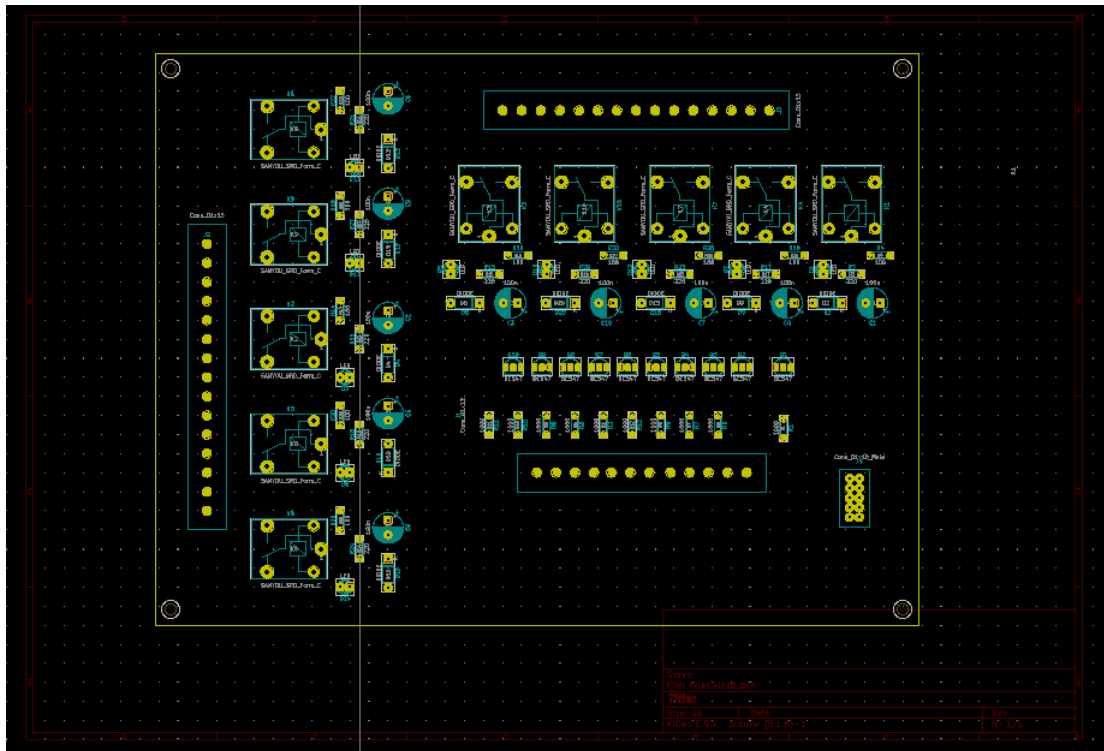
alimenta o microcontrolador do circuito de acionamento. Considerando que o microcontrolador é uma parte sensível da placa, com esse objetivo, é necessário que duas fontes de tensão sejam aplicadas para os circuitos, uma para o microcontrolador e outra para o acionamento dos relés; dimensionar as trilhas da placa de acordo com a potência instalada; inserir no circuito *Light Emitting Diode* (LED) que sinalizem as entradas e saídas que estão acionadas, com o objetivo de facilitar uma possível manutenção; utilizar bornes de conexão rápida, fator que configura alterações mais rápidas e fáceis de serem aplicadas à placa.

8.2.1 Desenvolvimento esquemático do circuito impresso

Com os conceitos básicos de eletrônica previamente estabelecidos, iniciou-se o processo de geração do circuito impresso da placa. Alguns componentes não eram inclusos na biblioteca do *kicad*, logo, tiveram que ser desenhados, o esquemático e seu *footprint*, como é o caso da placa contendo a *esp32 nodemcu-32s*, o esquemático já fora criado, porém é necessário atribuir o *footprint* a esse desenho, este processo é disponibilizado pelo próprio programa de desenvolvimento na aba *editor de footprint*.

Com todos os componentes desenhados e atribuídos seus respectivos *footprints*, inicia-se o processo de alocação das peças, sempre tendo como objetivo deixá-las próximas evitando assim, interferências e reduzindo a impedância do circuito, assim melhorando o desempenho da placa. Com o objetivo de obter um bom circuito de placa, deve-se observar a sobreposição de trilhas, caso existam muitas sobreposições torna-se difícil o posterior roteamento, processo que se dá pela alocação das trilhas de contato da placa. Com muitas coincidências de trilhas, será necessário o emprego de *jumpers*, componentes que fazem com que uma trilha passe por cima da outra sem contato elétrico, porém para o emprego deles deve-se inserir ilhas, que são pontos de solda, fator que aumenta o esforço na hora de implementar o circuito. A figura 12 mostra a alocação feita para a placa de relés via *kicad*.

Figura 12 – Esquemático da alocação das peças

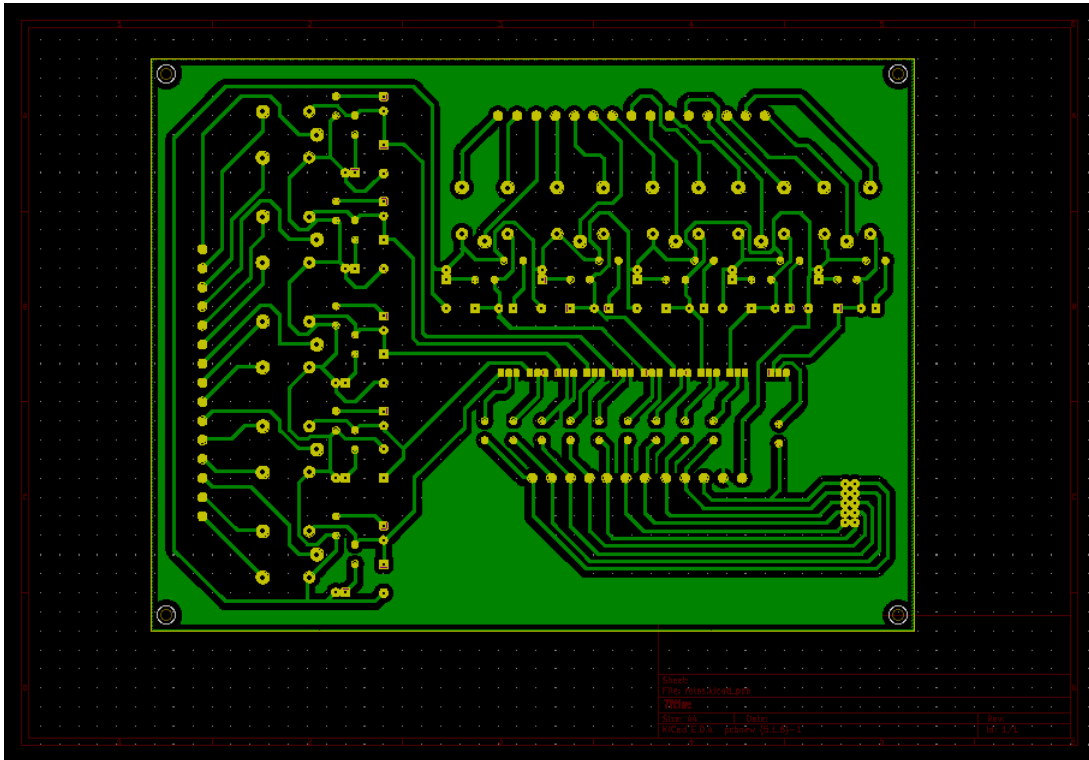


Fonte: Autoria própria (2022)

Feita a alocação das peças, deve-se rotear as trilhas, ou seja, inserir no projeto da placa por qual caminho essas vão seguir. Esse processo pode ser feito manualmente ou automaticamente, alguns programas pagos como o proteus tem a opção de roteamento automático, porém o *kicad* não possui esse recurso, mas, ele tem a opção de exportar os *footprints* em um arquivo **DNS**, este contém todas as informações da placa referenciadas e configurações como isolamento entre trilhas e espessura. Com este arquivo, é possível importá-lo em um programa chamado *Freerouting*, que faz o roteamento automático gerando outro arquivo no formado **DNS**, este conterá as trilhas já feitas de acordo com as configurações setadas.

O software de roteamento é uma ferramenta de auxilio, logo, após a importação no *kicad* é necessário fazer alguns ajustes nas trilhas com o objetivo de respeitar as premissas de projeto. Após essas etapas concluídas, deve-se inserir o plano de terra na placa, no *kicad* essa opção encontra-se na aba *adicionar zonas preenchidas*, o plano de terra faz com que a placa tenha um aspecto profissional, além de aumentar a resistência a ruídos e diminuir a perda de cobre.

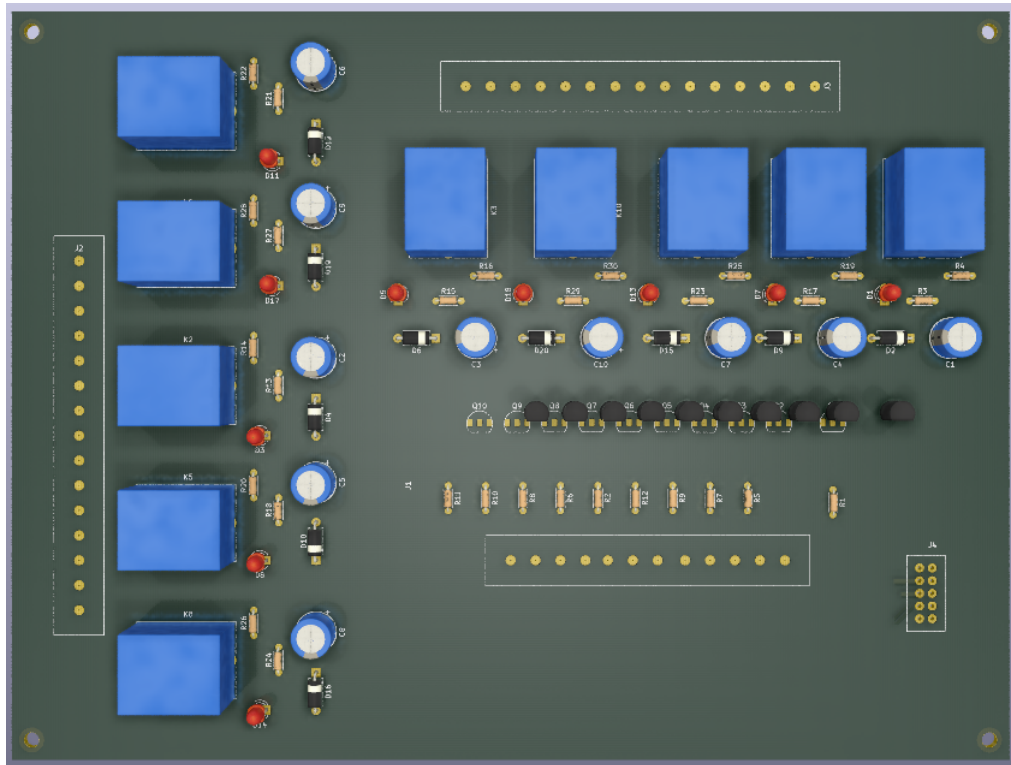
A figura13 mostra o esquemático final suprimindo o desenho das peças, ou seja, mostrando apenas as trilhas, ilhas e plano de terra. Foi feito desta forma, pois o desenho fica menos poluído e a identificação das trilhas é feita de forma mais simplificada.

Figura 13 – Esquemático final da placa de relés

Fonte: Autoria própria (2022)

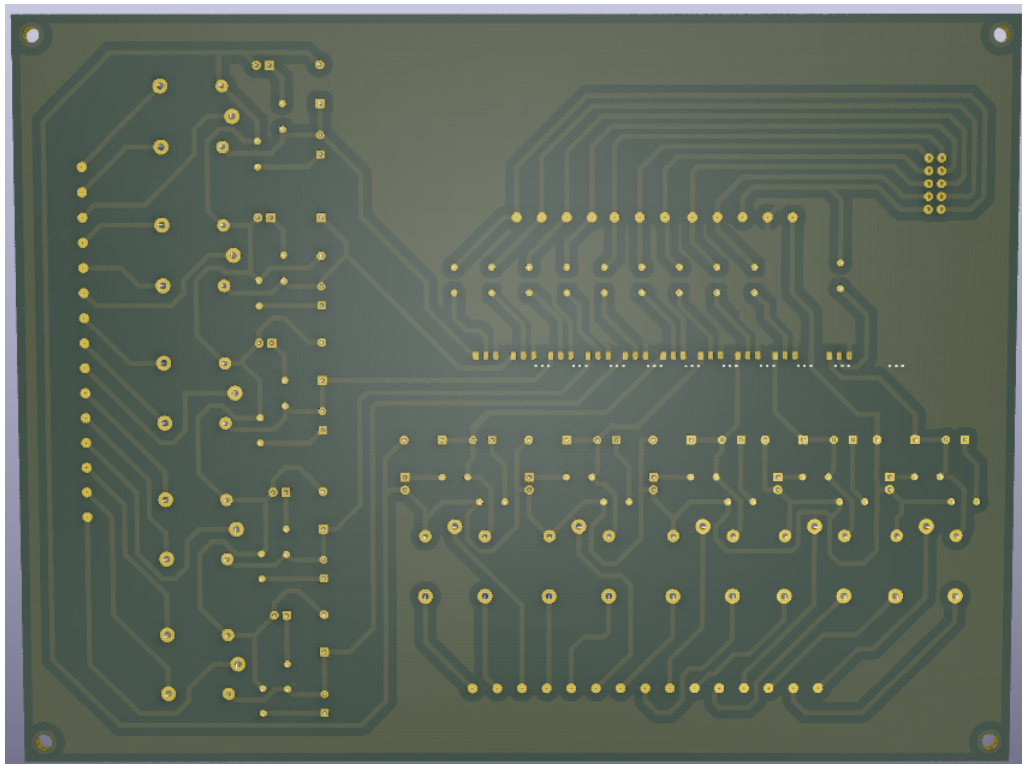
Posterior a Finalização das etapas de: Desenvolvimento esquemático, disposição das peças, configuração do *kicad*, roteamento das trilhas e inserção do plano de terra, a placa está pronta para ser confeccionada. O software *kicad* disponibiliza uma projeção em *três dimensões* (3D) da placa, contendo trilhas, ilhas e componentes. No desenho em 3D é possível notar que alguns dos equipamentos elétricos não possuem modelo em três dimensões, esses equipamentos foram desenhados de acordo com as peças contidas no estoque da instituição, essa premissa pode ser confirmada pelos conectores da placa, que possuem apenas o desenho das ilhas com espaçamento de 2,54 mm. As figuras 14 e 15, respectivamente mostram as vistas superior e inferior do modelo 3D da placa de relés.

Figura 14 – Modelo 3D - Vista superior



Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 15 – Modelo 3D - Vista inferior

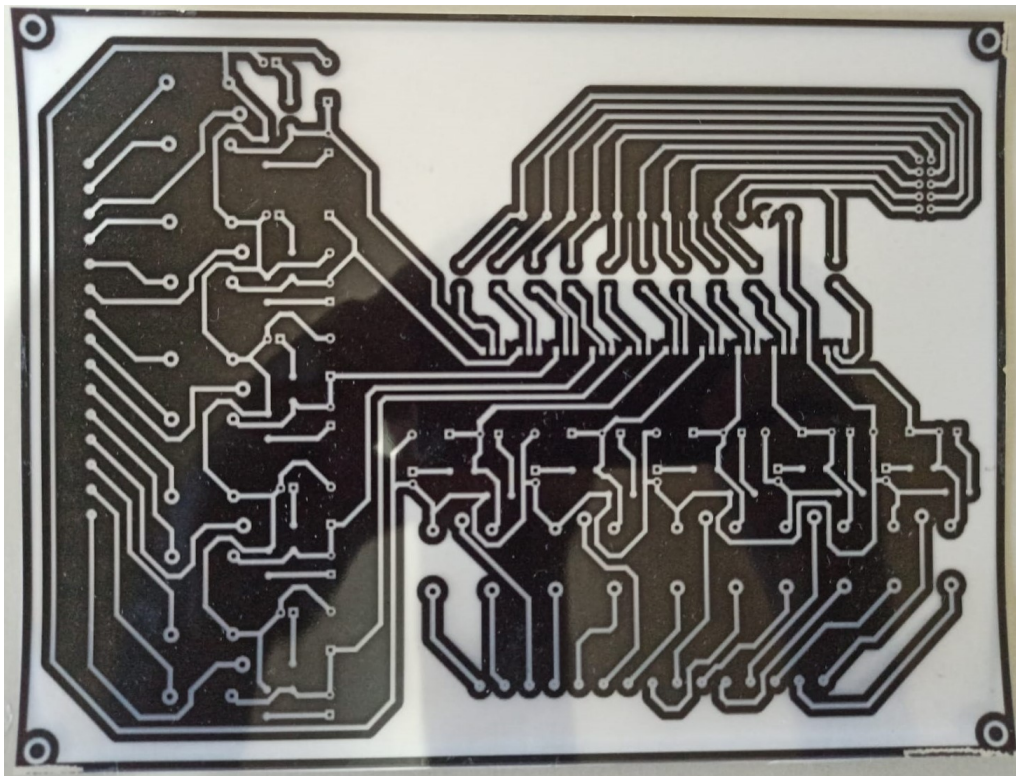


Fonte: Autoria própria (2022)

Comparando as trilhas mostradas na figura 13 com as da figura 15. É possível perceber

diferenças, ou seja na figura 13 as trilhas estão espelhadas, pois os componentes irão na parte superior da placa e as soldas e trilhas estão alocadas na face inferior da mesma, logo o *software* faz esse espelhamento de forma automática no modelo 3D. Esse fenômeno ocorre pois como já explanado, as trilhas e componentes foram alocados na mesma face da placa. Essa contrariedade é resolvida de forma simples, no menu do *kicad*, basta selecionar em sequência: *arquivo; exportar; SVG; imprimir espelhado*. O resultado é o fotolito já impresso apresentado na imagem 16, pronto para realizar o processo fotossensível.

Figura 16 – Fotolito da placa de relés impresso



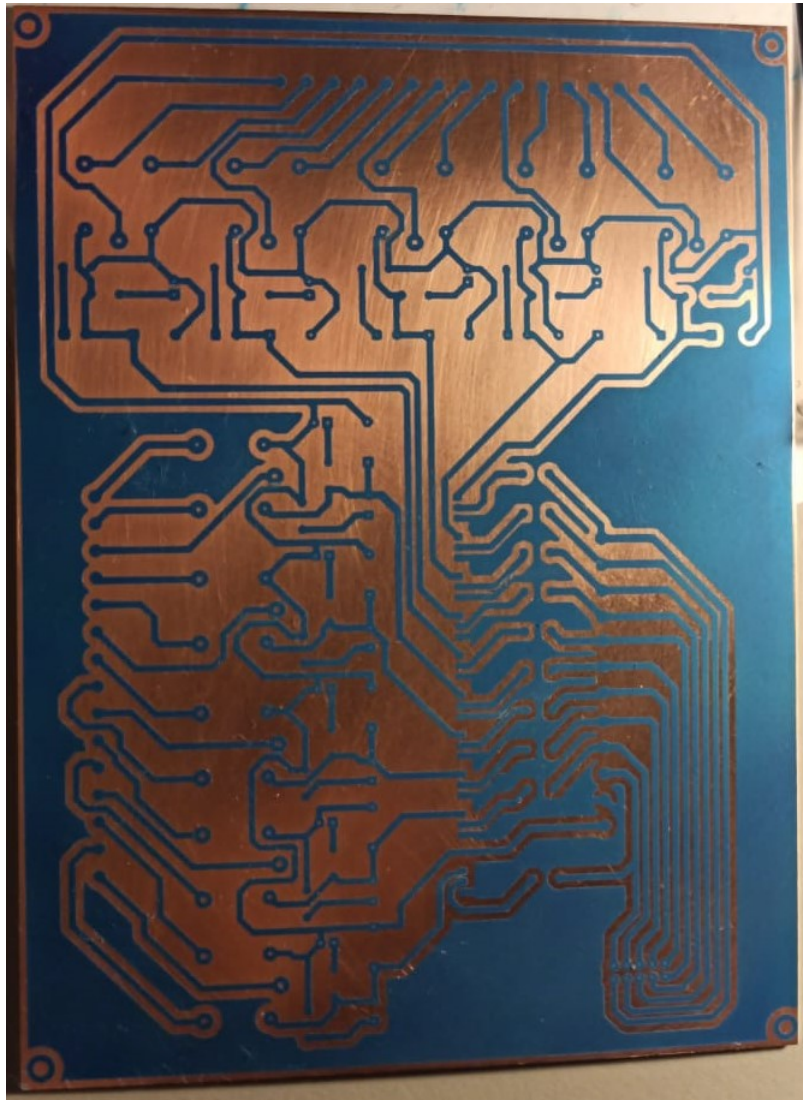
Fonte: Autoria própria (2022)

8.2.2 Confeção das placas

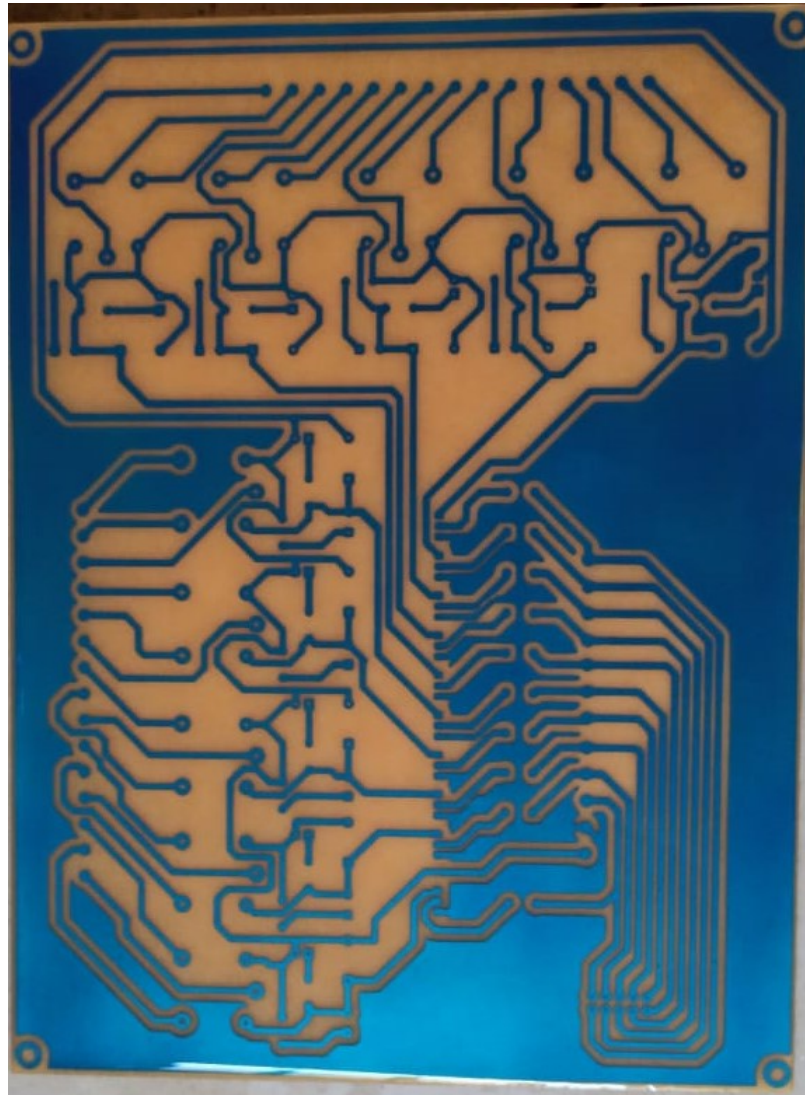
Em posse do esquemático do circuito impresso, no caso o fotolito, realizou-se o processo fotossensível (descrito no APÊNDICE C). O processo citado acima tem como objetivo gravar com tinta as ilhas e trilhas na superfície de cobre da placa virgem. A tinta imposta na camada de cobre irá protegê-la da reação que o cobre tem com o ácido. Assim, o circuito de cobre é formado.

A seguir a placa pós processo fotossensível, exemplificado pela figura 17 e pós corrosão demonstrada pela figura 18.

Figura 17 – Placa de relés pós processo fotossensível



Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 18 – Placa de relés corroída

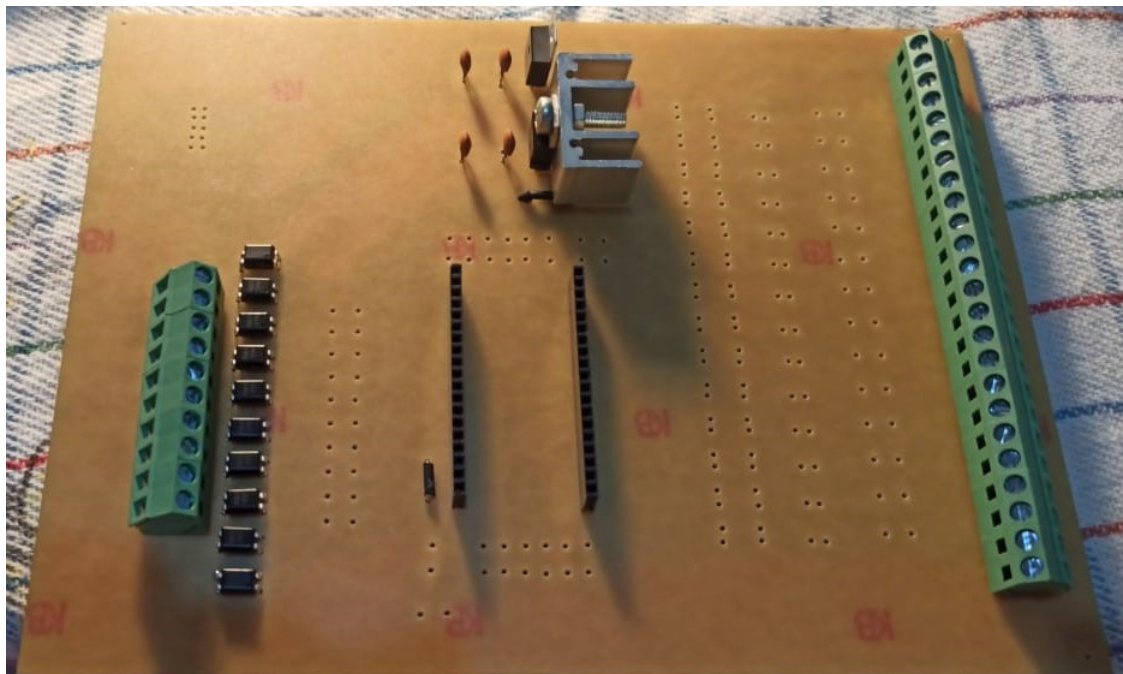
Fonte: Autoria própria (2022)

Com a placa corroída, o próximo passo é furá-la e posteriormente soldar os componentes. Estes furos devem respeitar as premissas de projeto, considerando o diâmetros dos furos, para que o cobre dos *pads* ou (ilhas) não sejam danificados. No sentido de desempenhar esta tarefa, deve-se utilizar um furador de placas, que é um equipamento similar a um alicate, onde ao pressioná-lo ele estampa o furo na placa, ou podem ser utilizadas brocas especiais para placas em conjunto com furadeiras, realizando tais aberturas.

Com a placa já furada em mãos, inicia-se o processo de solda dos componentes com estanho. Esta etapa deve ser feita com o esquemático em mãos, pois é necessário sempre prestar atenção na posição das peças elétricas, já que a inversão destas pode ocasionar e um funcionamento inadequado ou até mesmo um curto circuito, fator que pode danificar as trilhas e ilhas da placa. As figuras 19 e 20 mostram a placa no processo de solda dos componentes.

Figura 19 – Processo de solda

Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 20 – Processo de solda

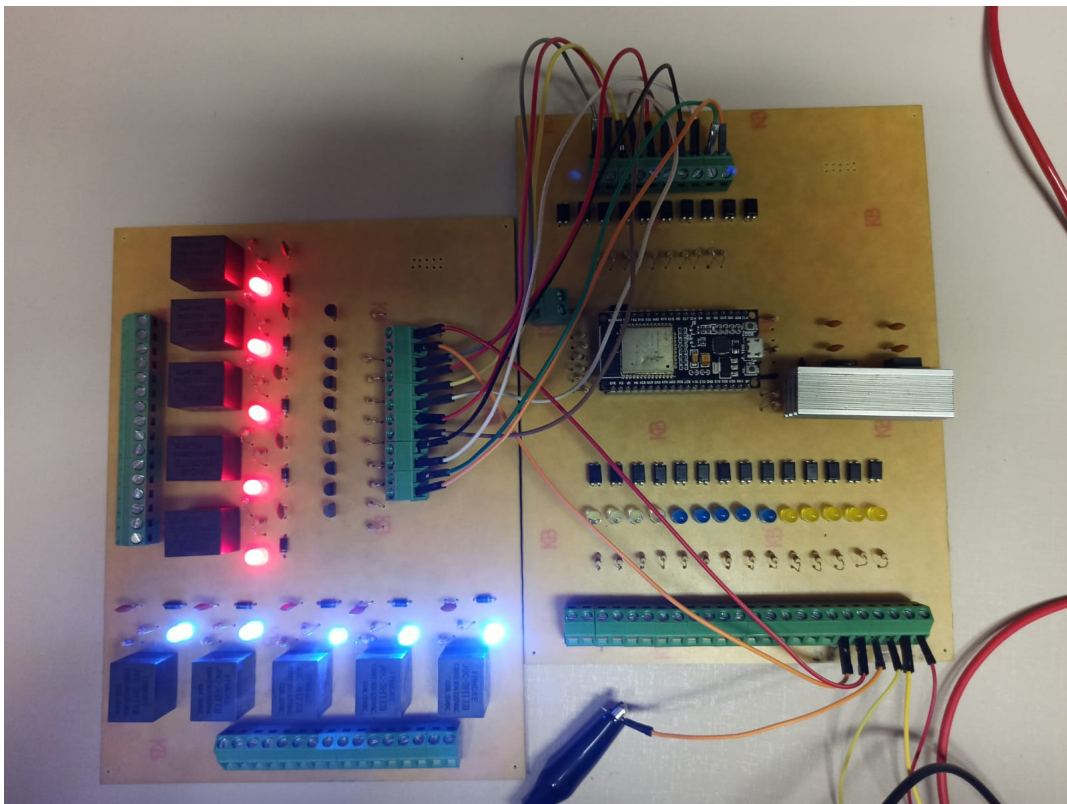
Fonte: Autoria própria (2022)

Um fator de suma importância, que deve ser levado em conta, se dá pelo tempo em que o ferro de solda fica em contato com os componentes, por exemplo o regulador de tensão LM 7805 utilizado para regular a alimentação de ambos os circuitos, da *esp32* e dos relés, este componente é sensível, caso seja aquecido à temperaturas elevadas é provável que este seja

danificado suspendendo a regulação de tensão. Inclusive, durante o processo de solda deste componente uma peça foi danificada, com base nessa experiência prática e extrapolando para o regime permanente de operação, foi instalado um dissipador de calor em ambos os reguladores.

É necessário antever que dependendo da complexidade do circuito este não irá funcionar na primeira energização, logo componentes podem ser danificados e com isso é capaz que a remoção deles seja necessária, dessa forma, o emprego de malha desoldadora e sugador são indispensáveis. Por fim, utilizando todas as premissas de projeto, as placas foram confeccionadas, os registros fotográficos de ambas podem ser observados na figura 21.

Figura 21 – Placas energizadas



Fonte: Autoria própria (2022)

8.3 Processos para inicialização do módulo wifi e conexão com a esp32

A ESP32 foi configurada no modo *access point* (AP), ou seja, irá desempenhar a função de roteador, possibilitando que outros dispositivos se conectem com ela através do *Wireless Fidelity* (Wifi), utilizando o *internet protocol* (IP). Sendo assim, de acordo com Dominguesche (2021), a arquitetura TCP/IP utiliza conjuntos de protocolos TCP e IP para estabelecer comunicação entre redes. Ainda, o autor fornece a informação de que o IPv4, possui 32 bits que são separados em duas partes, a primeira contempla o endereço de rede, a segunda diz respeito ao endereço de *host*, este sendo o endereço dos computadores ou máquinas conectados à rede.

A configuração do IP da ESP32 é definida como padrão, determinada pela sequência 192.168.4.1, caracterizando os 32 bits. Essa condição ocorre, pois foram utilizadas bibliotecas

que configuram automaticamente o *wifi* da placa. Portanto, ajustou-se apenas: Nome da rede, senha da rede, porta do *web server*, número de conexões máximas simultâneas e canal da rede.

A última configuração citada anteriormente, é de extrema importância, pois define o *range* de frequência que a rede irá operar, esta trabalhando em torno de 2,4 Ghz. A configuração incorreta deste canal pode interferir no processo de comunicação da placa com os outros dispositivos, no sentido de que poderá haver sobreposição de sinais, ocasionando em uma transferência de dados lenta ou até mesmo a interrupção da comunicação.

Com o propósito de evitar o fato de sobreposição de sinal descrito anteriormente, sabendo que a rede de 2,4 Ghz possui 11 canais, e que dentre eles, os únicos que não se encontram no espectro de frequência são os canais 1, 6 e 11. Com base nessas informações, o canal da rede foi ajustado para atuar no canal 6.

Ainda, vale ressaltar que, no texto estruturado que comanda o microcontrolador via código, são reservados pinos para que o *setup* do módulo de comunicação funcione adequadamente. Contudo, as *general purpose input output* (GPIO) 0, 11, 12, 14, 26 e 27, são utilizadas para inicialização e configuração do módulo *wifi* da placa, logo, se torna claro que estes pinos não devem ser utilizados para outros propósitos.

Em busca de, concluir o objetivo principal da implementação do microcontrolador, que diz respeito a acionar os relés através de comandos via *smartphone*, declarou-se uma variável numérica do tipo inteira no código chamada de *aux*. Essa variável irá receber valores remetidos pelo celular que, de acordo com tal grandeza, irão desempenhar uma função preestabelecidas via código.

Por fim, configurou-se o aplicativo que irá enviar as informações para a ESP. Este aplicativo é de desenvolvimento aberto, ou seja, não se faz necessário o pagamento por seu uso. Este aplicativo se chama *Serial Wifi Terminal* e foi desenvolvido por um programador chamado Kai Morich e foi disponibilizado no *playstore* da *Google*. A imagem 22, demonstra a interface gráfica do aplicativo e posteriormente será feito um breve comentário de como configurá-lo.

Figura 22 – Registro fotográfico do aplicativo



Fonte: Autoria própria (2022)

Com o aplicativo já instalado no celular, deve-se configurar a interface gráfica. Este aplicativo tem a opção de enviar textos digitados na parte inferior. Esta opção permite que sejam enviadas *strings* que são variáveis do tipo texto. Caso queira, o usuário pode criar "macros", que são botões com textos pré-definidos. Um exemplo disso pode ser observado na figura 22, onde foram criadas 20 macros, contendo a opção de ligar e desligar 10 relés.

Para criar essas macros, no app basta tocar nas 3 barras do canto esquerdo superior que irá abrir o menu, feito isso, toque em *settings* depois em *misc*, por último em *macro buttons*. Essa aba lhe dará a opção de escolher quantas linhas de macros serão inseridas na interface, podendo atingir o número máximo de 5 linhas.

Em seguida, deve-se configurar as macros, ou seja, definir o nome que irá aparecer na tela do aplicativo e qual informação será enviada. Para isso, será preciso tocar na macro e segurar por um instante, irá aparecer a tela de *setup* da macro. Na primeira opção "Name" deverá ser posto o nome da macro, na segunda "Value" coloca-se o valor a ser enviado, na terceira "Edit mode" insere-se o tipo de variável a ser enviada, no caso, como já foi explanado será uma variável do tipo texto, por final, configura-se no aplicativo qual ação este deve tomar com essa variável neste caso as variáveis serão enviadas, mas é possível recebê-las também.

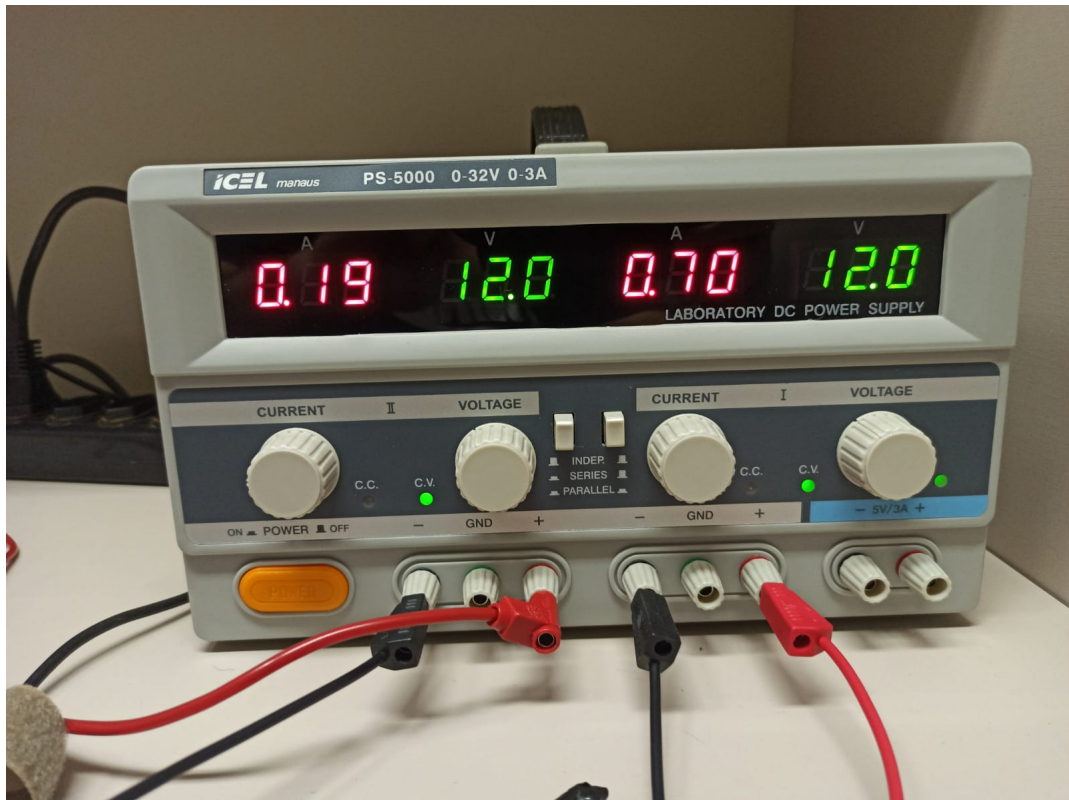
Por fim, adentra-se no aplicativo os dados da rede *wifi* para que este consiga comunicar-se com os componentes da mesma. Para tal finalidade, deve-se chegar no menu do app como foi exemplificado anteriormente, só que dessa vez, necessita-se que toque em *Devices*, e posteriormente no simbolo de mais. Feito isso, irá abrir uma nova aba onde tem-se que inserir o ip da

rede, novamente, nesta circunstância foi inserido o valor 192.168.4.1. A seguinte informação que deve ser posta, essa diz respeito ao valor da porta do *Websserver*, neste contexto, possui valor 80.

Após configurar o *Serial Wifi Terminal*, retorna-se a tela inicial e toque no canto superior direito terceira opção da direita para a esquerda, a opção a ser selecionada é "conectar". Caso o aplicativo consiga se conectar na rede, irá aparecer a seguinte mensagem no *prompt de comando* "Connected". Caso o aplicativo não consiga se conectar, a mensagem "Connection failed", quer dizer que, não foi possível conectar-se a rede, sendo necessário fazer um estudo do motivo de tal falha ocorrer.

8.4 Resultados práticos

A etapa final do projeto se deu por conectar a alimentação nas placas e fazer as interligações necessárias para que ambas trabalhassem. Essas interligações correspondem ao conector J2 da placa ESP e J1 na placa dos relés, essa premissa pode ser confirmada nas figuras 9 e 10. Em termos de alimentação, como pode ser visto na figura 23, duas fontes independentes foram necessárias para realizar o teste, a fonte da esquerda forneceu 12 volts em corrente contínua (VCC) para o circuito da ESP32, esta drenando 190 mA da fonte. Já a fonte da direita foi responsável por energizar o circuito dos relés, novamente com 12 VCC, nota-se a diferença em termos de demanda de corrente, sendo esta maior e estabelecendo-se em 700 mA com todos os relés acionados. Os reguladores postos na placa ESP são para 1 A, logo a corrente ficou dentro da margem destes equipamentos.

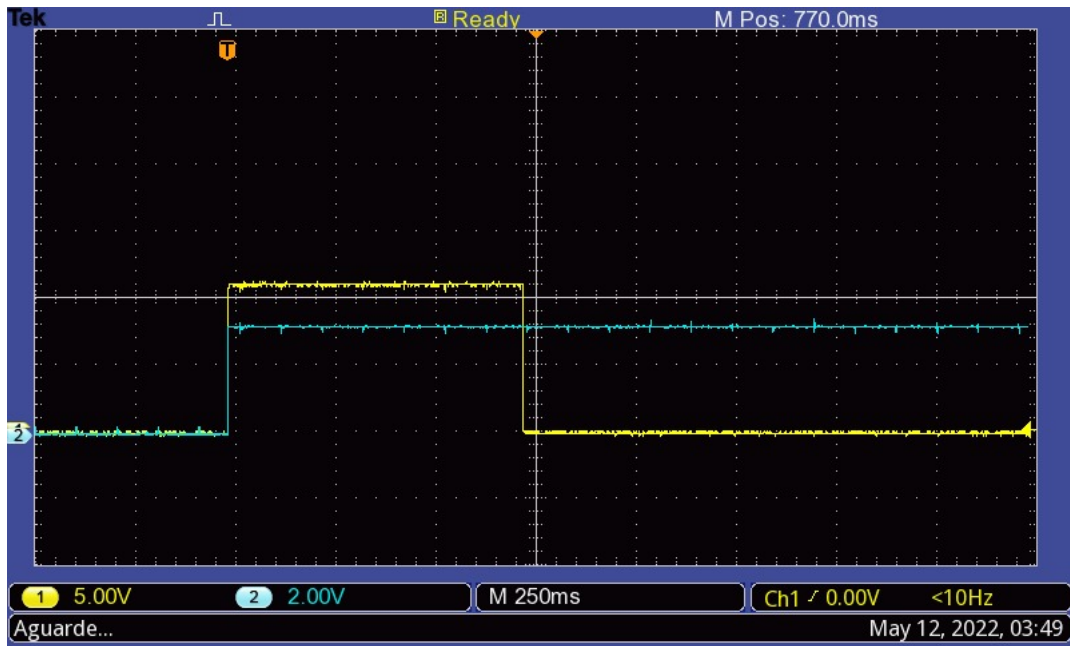
Figura 23 – Dados elétricos de alimentação das placas

Fonte: Autoria própria (2022)

Validado o acionamento de todos os relés via *smartphone*, verificou-se a resposta das entradas digitais via osciloscópio. Constatou-se o comportamento da entrada e da saída digital da placa, este disponibilizado graficamente na figura 24, em amarelo corresponde o pulso digital com o valor de 12 VCC no optoacoplador, em azul denota-se o pino 22 do microcontrolador assumindo o valor alto, este com o valor de 3,3 VCC e permanecendo neste estado.

Analisando o gráfico, percebe-se que quase não se apresenta defasagem entre o pulso de entrada e a mudança de estado lógico de saída, logo, para aplicações que não necessitem de velocidades altas e que sejam menos complexas, este projeto atende a estas demandas, como por exemplo controle de temperaturas, acionamento de contadores, iluminação e etc.

Figura 24 – Registro fotográfico do pulso de entrada e saída do microcontrolador



Fonte: Autoria própria (2022)

9 ROTEIROS PRÁTICOS DE UTILIZAÇÃO DA BANCADA

Os roteiros a seguir foram elaborados com a premissa de que, já houve uma explanação geral dos equipamentos contidos no painel e seu funcionamento, além de uma análise crítica do circuito de força e comando do mesmo. É válido ressaltar que o projeto entregue aos discentes não contém o desenho dos relés de comando da placa ESP, justamente para forçá-los a analisar as possíveis causas dos problemas que serão gerados e encontrar os relés por conta própria.

9.1 Prática - sobrecarga

Inicialmente o docente tampará a fotocélula e pedirá aos discentes que acionem a segunda máquina na forma estrela/triângulo automático, ou seja, a troca de contatores é feita automaticamente via relé temporizador. Para que esta função ocorra, a comutadora C1 deve estar em "comando painel" e a comutadora C2 tem que estar na posição "manual" e o aluno deve apertar o botão B2 "parte motor".

Feito isso a máquina 2 entrará em operação, quando a mesma atingir a velocidade nominal, o docente via *smartphone* toca a opção rele 6 no mesmo. Feito isso, o relé da placa irá comutar ativando a máquina 1 a uma velocidade menor que a máquina 2, logo, o motor 1 irá impor uma carga no motor 2, fazendo com que este entre em sobrecarga e seu disjuntor atue desativando a máquina 2. Após ter sido gerada a falha, o professor deve desativar a máquina 1 via celular e solicitar que os alunos encontrem o motivo de ambas as máquinas terem saído de operação.

Para tanto, os discentes devem fazer o uso de suas habilidades de percepção e verificar que o disjuntor motor da máquina 2 desarmou, essa seria a primeira parte da análise. A segunda pergunta seria, por qual motivo a segunda máquina acionou sem nenhum comando aparente. Para obter essa resposta os discentes devem fazer o uso de equipamentos elétricos de medição e seguir a linha de comando da entrada digital do inversor até seu sinal de referência comum medindo a continuidade da mesma com o multímetro. Assim, espera-se que os relés da placa ESP sejam encontrados, os próximos passos serão identificar os efeitos destes dentro do painel.

9.2 Prática - abertura de comando via fotocélula

Nessa prática a máquina em foco é a 1. Primeiramente, o relé 6 da ESP deve estar desativado assim como a máquina 2. Via comutadora C5 deve-se escolher para qual lado a máquina 1 irá acionar, feito isso a máquina entra em operação, o professor irá posicionar seu celular em cima da mesa mostrando-o aos alunos, apenas para dar uma dica de que a próxima falha não está sendo gerada via *smartphone*. O segundo passo é retirar a tampa da fotocélula permitindo que a luz atinja a mesma, e que o borne relé 3 seja desativado cortando a linha de comando da do inversor, consequentemente desativando a máquina 1.

Novamente os alunos serão postos à prova, e deverão seguir a linha de comando do inversor desvendando o funcionamento da fotocélula.

9.3 Prática - perda da referência de velocidade

Novamente, na prática 3 a máquina em foco continua sendo a 1. O docente fazendo o *bypass* da fotocélula através da comutadora C6, tirará a mesma de funcionamento, dando espaço para que outra falha seja implementada no inversor. Esta por sua vez será implementada pelo *smartphone* através do comando rele 5. É válido ressaltar que os preparativos da prática 2 para que a máquina 1 entre em funcionamento devem ser executados novamente nessa prática.

Com a máquina um em funcionamento, o professor dará o comando via celular e este irá desativar a referência de velocidade do inversor, fazendo-o entrar em falha. O objetivo desta prática é testar as habilidades de percepção dos discentes e familiarizá-los com manuais técnicos, já que para resolver este problema, terão que observar a falha que o inversor está indicando e procurá-la no manual, assim facilitando a resolução do problema e novamente poderão chegar mais rápido na fonte do problema, no caso o relé 5 da placa ESP.

9.4 Prática - subtensão na bobina do contator k1

Esta prática gira em torno da máquina 2, partindo-a de forma direta. Com a máquina 1 parada, o professor deve solicitar que os alunos acionem a máquina 2 de forma direta no sentido anti-horário, para isso eles devem manter a comutadora C1 em "comando painel", a comutadora C2 em "Manual", a comutadora C3 em "Direta", a comutadora C4 em "Sentido anti-horário", feito isso deve-se pressionar o botão B2 "parte motor". Após acionar a máquina 2 em sentido anti-horário, o professor deve pedir que os alunos a acionem no sentido horário, para tanto estes devem desativar a máquina pressionando o botão B1 "Parada motor" e pondo a comutadora C4 em "Sentido horário".

Nesta configuração, a máquina estará girando para o sentido horário e então o docente deve acionar o relé 4 da placa ESP com o comando "rele 4". Com esta ação o rele irá comutar enviando o neutro para a bobina do contator K1, simulando um desbalanço de fase, fato que será passível de simulação devido a não haver tensão o suficiente na bobina do contator e começará a vibrar gerando aquecimento nos componentes em função do mau contato, este fato fará com que as proteções por sobrecorrente atuem desativando a máquina.

Os discentes devem fazer o uso do multímetro e medir a tensão na bobina do contator K1 com a máquina parada, com o objetivo de constatar que esta não se encontra em um nível aceitável. Após esta constatação, deve-se seguir a linha do contato comum do K1 no caso o contato A2, e identificar que, novamente o que gerou essa falha foi o relé da placa ESP, trocando a fase comum do contator por um neutro, totalizando 127 V na bobina deste.

9.5 Prática - simulação de falta de fase

A falha por falta de fase será simulada na máquina 1 e 2, com a abertura do relé 2 da placa ESP via comando "rele 2" no celular, esse comando irá retirar a fase R do relé falta de fase que entrará em falha e abrirá seu contato, assim retirando a fase S do comando, logo, este torna-se impossibilitado de atuar nas máquinas. Essa falha pode ser gerada com as máquinas paradas ou girando, além de ser possível empregá-la nos motores individualmente, ficará a critério do professor em como executá-la.

Neste ponto vale ressaltar que para ambas as máquinas operar em conjunto, deve-se ajustar a frequência no inversor para 60 Hz, esta que é a mesma frequência da rede.

O efeito da geração dessa falha com as máquinas paradas no painel, no sentido de que haverá a abertura da linha de comando, logo, será impossível fazer com que estas entrem em funcionamento. Com as máquinas ativas, devido a abertura da linha de comando elas irão desativar.

O cunho didático se apresenta com a necessidade dos alunos identificarem o motivo dos motores pararem. Essa identificação pode ser realizada observando a falha no relé falta de fase, este que estará com seu LED de falha em acionamento intermitente. Caso os alunos não identifiquem visualmente a falha, deve-se utilizar o multímetro novamente e seguir a linha de comando, localizando os pontos onde a fase S não se apresenta, até chegar no contato comum do relé falta de fase onde ela se apresenta, assim identificando a abertura do relé. O próximo passo seria, novamente, identificar o relé da ESP e entender todo o processo de como a falha foi gerada, analisando o funcionamento de cada componente e seu contexto para a geração da falha.

9.6 Prática - controle de temperatura

Essa prática tem como objetivo exemplificar o controle de temperatura em processos, situação comum em plantas industriais. Conforme o circuito 4 do projeto, este será composto por um digital controlador de temperatura e seu respectivo sensor, no caso o PT 100, que será sensibilizado com a elevação de temperatura provida de um resistor de aquecimento que enviará o sinal para o digital. A ocorrência da falha será provida pelo acionamento do relé da placa, via *smartphone* com o comando rele 1.

A sequência dessa prática consiste em por a comutadora C1 em "comando painel", a comutadora C2 em "automático", a comutadora C3 em "partida direta" ou "estrela/triângulo" fica a critério do professor e a comutadora C4 em "sentido horário" ou "anti-horário", novamente fica a critério do docente. Feitas tais configurações o acionamento da máquina 2 será feito via celular pelo professor, integrando os alunos com as ideias *IOT*.

Após o acionamento do motor o professor irá acionar o relé 1 da placa controladora, ativando o resistor que irá aquecer o sensor, ressalta-se que a temperatura está sendo exibida no controlador que estará na porta do painel de acionamento, fato que servirá como dica para que os alunos identifiquem o problema. Quando a temperatura atingir o definido na programação do

digital de temperatura, este irá acionar seu relé que abrirá a linha de comando, assim desativando a máquina.

Como explicado anteriormente, os alunos terão dicas para identificar as falhas, fato que ocorre em processos industriais reais, basta observar as informações. Logo, o processo de resolução dessa falha começa observando as informações dispostas no painel, além da verificação do projeto do painel, a princípio, os alunos saberão que a máquina parou por causa que o digital atuou seu relé devido à elevação da temperatura, porém a segunda parte da análise consiste em entender o motivo de tal elevação, e novamente se deparar com o relé da placa, para isso utilizando os manuais dos equipamentos, projeto, habilidades de percepção e ferramentas de medição de fenômenos elétricos.

9.7 Prática - avaliação de conhecimento sobre máquinas

Essa prática será exemplificada no circuito 6b do painel elétrico, nela o aluno individualmente poderá ser avaliado pelo professor no quesito partida de máquina de indução trifásica. Com uma análise prévia do circuito de comando da máquina 2, o discente será convidado pelo docente a realizar a partida manual do motor 2, com as seguintes opções: fechamento das bobinas estrela ou triângulo, sentido de giro horário ou anti-horário e freio por corrente contínua.

Para realizar essa tarefa o docente deve comutar a comutadora três posições C1 para "Manual alunos", com isso, o acionamento dos contatores K1, K2, K3, K4, K5, K6 e K7 se torna manual, via comutadora duas posições com retenção, também há a possibilidade do aluno realizar a frenagem por corrente CC pressionando o botão B1 "Parada motor (freio CC)". Logo, o controle do acionamento dos contatores de potência da partida da máquina 2 passa estar sob os cuidados dos alunos, onde eles devem fazer a ativação correta destes componentes de acordo com a tarefa solicitada pelo docente.

Primeiramente pede-se que ative a máquina 2 no fechamento triângulo no sentido horário. Para desempenhar essa tarefa a sequência de ativação dos contatores é: K1, K3 e K4. Esse acionamento é feito pelas comutadoras CK1, CK3 e CK4 respectivamente.

No segundo acionamento, pede-se que ative a máquina 2 no fechamento triângulo no sentido anti-horário. Para desempenhar essa tarefa a sequência de ativação dos contatores é: K2, K3 e K4. Esse acionamento é feito pelas comutadoras CK2, CK3 e CK4 respectivamente.

No terceiro acionamento, pede-se que ative a máquina 2 no fechamento estrela no sentido horário. Para desempenhar essa tarefa a sequência de ativação dos contatores é: K1, K3 e K5. Esse acionamento é feito pelas comutadoras CK1, CK3 e CK5 respectivamente.

No quarto acionamento, pede-se que ative a máquina 2 no fechamento estrela no sentido anti-horário. Para desempenhar essa tarefa a sequência de ativação dos contatores é: K2, K3 e K5. Esse acionamento é feito pelas comutadoras CK2, CK3 e CK5 respectivamente.

Por ultimo, pede-se que seja feito o acionamento do freio CC da máquina, para isso basta pressionar o botão B1 que esta função será desempenhada.

Nos acionamentos dos contatores de potência anteriormente citados, verifica-se no

diagrama elétrico que alguns destes componentes não podem ser acionados simultaneamente como K1 junto com K2, K4 junto com K5 e K3 junto com K7, pois iriam acarretar em curto circuito danificando o painel. Caso alguns destes comandos sejam impostos via comutadoras, o painel possui os devidos intertravamento impedindo que a atuação dos componentes seja feita e acionando uma luz vermelha, reprovando a ação do aluno.

10 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho buscou contextualizar o estudo sobre falhas elétricas no âmbito industrial, exemplificando tipos de ocorrência e métodos para atenuar os danos que estas podem ocasionar no sistema elétrico. Além disso foram apresentados e exemplificados o uso de diversos componentes encontrados em sistemas de acionamento e comandos elétricos.

Devido a necessidade de profissionais capacitados na área, sua periculosidade e complexidade, destaca-se a importância das instituições de ensino em prestar uma instrução de qualidade, em que os discentes adquiram experiência prática nos laboratórios. Quando formados, os profissionais deverão ter a capacidade de atuar de forma consciente e efetiva em instalações elétricas industriais, oferecendo qualidade, segurança e efetividade em seus serviços prestados.

Por fim, são explanadas ideias sobre práticas laboratoriais e exemplificados projetos de bancadas didáticas de ensino, onde os próprios alunos de diferentes instituições foram também os projetistas. De maneira similar, tem-se a proposta da bancada didática envolvendo os circuitos de comandos e força com o diferencial de apresentar roteiros didáticos, que tem como objetivo facilitar a condução do curso prático implementado pelo docente.

Com base em todas as falhas elétricas que devem ser abordadas pela bancada, almejando contribuir com a formação profissional dos discentes da UTFPR, fez-se os projetos elétricos do quadro e placas *IOT*. Havendo os projetos em mãos efetuou-se uma segunda análise deste, com o propósito de encontrar possíveis inconsistências. Apenas após essa averiguação é que efetuou-se o dimensionamento das peças, estas que deverão estar presentes no quadro elétrico, contemplando o acionamento, proteção e controle das máquinas elétricas e dispositivos de acionamento.

Em posse dos dados elétricos que os equipamentos devem atender, foram executados orçamentos com base em produtos de qualidade de grandes empresas instaladas no território nacional, como ABB, SIEMENS e WEG. Devido ao alto custo de implementação do painel, não foi possível adquirir essas peças e, conseqüentemente, montar o quadro elétrico. Mas, apresentou-se viável realizar projeções 3D do mesmo com o objetivo de ilustrar o vislumbre que tem-se para este equipamento, e executar o projeto das placas *IOT* que funcionaram de acordo com o esperado.

Baseando-se no que foi apresentado, é possível concluir que a bancada será de grande ajuda para o ensino de acionamento, manutenção e projeto de instalações elétricas industriais no laboratório da instituição, introduzindo ideias de *IOT*, simulando falhas e aproximando o estudante da realidade em termos práticos. Como foi explanado, devido a falta de recursos não foi possível a implementação prática do painel elétrico, porém este trabalho busca englobar as informações necessárias para que futuramente outro discente do curso execute o projeto e contribua grandemente para a formação dos que virão a utilizar essa potente ferramenta.

REFERÊNCIAS

- ABNT. NBR 5410: Instalações elétricas de baixa tensão. **Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT)**, 2005.
- ALVES, T. G.; PAIM, G. P. **Confecção de placa de circuito impresso para chave estática**. Pelotas: Congresso de iniciação científica da Universidade Federal de Pelotas, 2011. 3–6 p. Disponível em: http://cti.ufpel.edu.br/siepe/arquivos/2013/EN_03186.pdf.
- ANDRADE, C.; DINIZ, G.; CAMPOS, C. Revista Docência do Ensino Superior A TEACHING METHODOLOGY FOR. **Revista Docência do Ensino Superior**, v. 1, 2011. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/rdes/article/view/2025/1360>.
- BARBOSA, F. H. F.; BARBOSA, L. P. J. d. L. Alternativas metodológicas em Microbiologia - viabilizando atividades práticas The use of alternative material in the elaboration and accomplishment of laboratory practical lessons of Microbiology. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 10, n. 2, p. 134–143, 2010. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/500/50016922015.pdf>.
- BEKOSKI, J. C. Desenvolvimento de uma bancada didática para estudos de defeitos em correias e desalinhamento entre polias. 2019. Disponível em: http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/24798/1/PB_DAMEC_2019_1_15.pdf.
- CAMPOS, M. P. **Estudo da energia incidente do arco elétrico em quadros/painéis elétricos**. Belo Horizonte: Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, 2016.
- CARVALHO, J. B. C. estimação de estado nos sistemas elétricos de energia. **Neutro à terra**, v. 26, p. 63, 2020. Disponível em: [http://ave.dee.isep.ipp.pt/\\$\sim\\$nt/NeutroATerra_N26_2S2020.pdf#page=41](http://ave.dee.isep.ipp.pt/\simnt/NeutroATerra_N26_2S2020.pdf#page=41).
- CERQUEIRA, A. Capacitância Notas de aula de Física III. 2009.
- COSTA, M. H. F. Análise comparativa da utilização de dois equipamentos para partida direta de motores elétricos trifásicos de indução rotor gaiola de esquilo: Inversores de Frequência x Chaves de Partida Estática (Soft-Starter). p. 82, 2014. Disponível em: https://www2.dee.cefetmg.br/wp-content/uploads/sites/18/2017/11/TCC_2014_2_MHFCosta.pdf.
- DANIEL, T.; PEDRO, U. B. d. A. **Sensores industriais fundamentos e aplicações**. 9. ed. Bela Vista: Érica, 2020. Disponível em: https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=lang_pt&id=1qgPEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP15&dq=manuten{ç}{~{a}}o+em+sensores+industriais&ots=RJ4B5KoHQC&sig=GfNfzknFlmq0YoxaYBeAhVK3ajw#v=onepa.
- DOMINGUESCHE, F. B. Desenvolvimento De Uma Plataforma De Internet Das Coisas (Iot) Integrado a Redes De Sensores Sem Fio. **Revista Tecnológica da Fatec Americana**, v. 09, p. 51–67, 2021.
- ENGENHARIA, P. D. E. P.-g. E. M.; VICTOR, V. F. Sistema especialista para detecção de falhas em comandos elétricos. 2005. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/15439/1/ValciFV.pdf>.
- ESCOLA, B. **Polimerização**. 2022. 1 p. Disponível em: <https://brasilescola.uol.com.br/o-que-e/quimica/o-que-e-polimerizacao.htm>.

FRANCHI, C. M. **Acionamentos elétricos**. 4. ed. São Paulo: Érica, 2013.

GONÇALEZ, F. **Estudo do motor de indução trifásico e desenvolvimento de um dispositivo de proteção efetiva de motores operando em condições anormais: rotor bloqueado e falta de fase**. Florianópolis: UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA, 2007. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/89869/273979.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

GROUP, W. E. G. **SOFT-STARTERS Tecnologia avançada para partida**. Jaraguá do Sul: WEG, 2021. 24 p. Disponível em: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/hca/h04/WEG-soft-starters-10525004-catalogo-pt.pdf>.

GUILHERME, F. F.; ALVES, D. R. **Comandos Elétricos - Componentes Discretos, Elementos de Manobra e Aplicações**. 1. ed. São Paulo: Erica, 2014. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788536518268/pageid/2>.

JORDAN, G. D. I. X. et al. **Classificador fuzzy do grau de severidade da sobrecarga em motores de indução utilizando um microcontrolador**. Tese (Doutorado) — UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ, 2018. Disponível em: http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/8241/1/CT_COEAU_2018_1_07.pdf.

LAMA, D. **Pensador**. 2002. Disponível em: https://www.pensador.com/autor/dalai_lama/.

LENZ, M. et al. **Acionamentos Elétricos**. Porto Alegre: Educação, Sagah, 2019.

LIZ, M. B. D. E. Contribuição para a Redução da Interferência Eletromagnética em Fontes Chaveadas. 2003. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/85025/195653.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

LOESCH, A. V.; SANTOS, A. dos; GARCIA, M. E. **Bancada didática para testes de falhas de sistemas de refrigeração**. Tese (Trabalho de conclusão de curso) — UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ, 2012. Disponível em: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/831/1/MD_COMIN_2012_1_09.pdf.

Mamede Filho, J. **Instalações Elétricas Industriais**. 9. ed. Rio de Janeiro: GEN, 2018.

NASCIMENTO, G. **Comando elétricos Teoria e Atividades**. 2. ed. São Paulo: Erica, 2018. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788536528557/pageid/66>.

NERY, N.; KANASHIRO, N. **Instalações elétricas industriais**. 2. ed. São Paulo: Erica Saraiva, 2016.

NUCLEARES, I. d. P. E. e. **Cura por radiação**. 2022. 1 p. Disponível em: https://www.ipen.br/portal_por/portal/interna.php?secao_id=740.

ORGANIZATION, T. P. **Trace Parts Product Content Everywhere**. traceparts, 2022. Disponível em: <https://www.traceparts.com/en/product/rs-components-siemens-overload-relay-4no-10-a-110-v-dc?CatalogPath=TRACEPARTS%3ATP09006001&Product=10-13062019-086116&PartNumber=3RH1140-1BF40>.

PAMPLONA, F. M. P. et al. Sobretensões Transitórias Decorrentes De Manobras De Bancos De Capacitores. n. January, p. 7, 2014. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/229038548_Sobretensoes_Transitorias_Decorrentes_de_Manobras_de_Bancos_de_Capacitores.

RIBEIRO, A. A. **Protocolo para criação de sistemas de comandos elétricos**. UBERABA: UNIVERSIDADE FEDERAL DO TRIÂNGULO MINEIRO, 2017. Disponível em: <http://bdtd.ufmt.edu.br/bitstream/tede/386/5/DissertAlineARibeiro.pdf>.

ROVEA, S. B.; JANUÁRIO, M.; HOFFMANN, K. Implantação de uma bancada de acionamento e controle de máquinas elétricas para ensino na engenharia. **XXVIII Congresso de Iniciação Científica do Inatel**, n. May, p. 301–306, 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/303876748_Implantacao_de_uma_bancada_de_acionamento_e_controle_de_maquinas_eletricas_para_ensino_na_engenharia.

SARAN, M. A. M. **Sobretensões de origem atmosférica em linhas de média tensão**. Itajubá: Universidade federal de Itajubá, 2009.

SILVA, A. Relatório do trabalho sobre medição de temperatura com PT100. p. 17, 2016. Disponível em: [https://paginas.fe.up.pt/\\\$sim\\$ee02057/outras/RelatorioPT100.pdf](https://paginas.fe.up.pt/\simee02057/outras/RelatorioPT100.pdf).

SILVA, C. R. d. M. M. da et al. **Projeto de curso técnico em automação industrial**. Tese (Doutorado) — INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, 2013. Disponível em: https://serra.ifes.edu.br/images/stories/Menu_Campus_Serra/Cursos/PPCs/PPC_Automacao_Industrial_Concomitante.pdf.

SILVA, M. E. da. Controladores Lógico Programáveis - Ladder. p. 40, 2007. Disponível em: <http://www.omareasaida.com.br/wp-content/uploads/2020/08/Apostila-CLP-Ladder.pdf>.

TAQUES, M. M. **Comandos elétricos industriais teoria**. Tese (Doutorado) — Instituto federal de Santa Catarina, 2016. Disponível em: [http://joinville.ifsc.edu.br/\\\$sim\\$mtaques/ComandosIndustriais/Apostila_ComandosIndustriais_Teoria_ProfMauricioTaques_Vmar{ç}o20](http://joinville.ifsc.edu.br/\simmtaques/ComandosIndustriais/Apostila_ComandosIndustriais_Teoria_ProfMauricioTaques_Vmar{ç}o20).

TIRLONI, M.; MACHADO, C. C. **Uma proposta para auxiliar pessoas com deficiência visual e daltonismo a identificar cores e suas possíveis combinações**. Uruguai: SimCIT, 2018. 283 p. Disponível em: <http://www.fw.uri.br/NewArquivos/publicacoes/publicacoesarquivos/317.pdf#page=66>.

TULIO, S. C.; PINTO, J. H. C. **Atuação dos bombeiros em incidentes envolvendo amônia. corpo de bombeiros militar do distrito federal departamento de ensino, pesquisa, ciência e tecnologia**, 2018. Disponível em: <https://biblioteca.cbm.df.gov.br/jspui/bitstream/123456789/70/1/1084-ArtigoColombaroli.pdf>.

WEG, G. Bancada Didática - BDMW. 2016. Disponível em: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h22/hdb/WEG-bancada-didatica-BDMW-50023199-catalogo-pt.pdf>.

WEG, G. W22. p. 52, 2021. Disponível em: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h94/h69/WEG-w22-motor-eletrico-trifasico-50023622-brochure-portuguese-web.pdf>.

WEG Group. **Product profile Automation**. Jaraguá do Sul: WEG, 2021. 4 p.

APÊNDICE A
ORÇAMENTOS

Tabela 2 – ORÇAMENTO ABB

Descrição da peça	informações elétricas	folha do projeto	quantidade	preço orçado (ABB)	preço por quantidade (ABB)	Código do produto
inversor de frequência 0,5 CV	220v; 0,5CV	1	1	2160	2160	ACS150-01E-04A7-2
resistor de frenagem	de acordo com o manual do inversor	1	1	-	0	-
disjuntor motor 1,6 a 2,5 A	disjuntor curva D 1,6 a 2,5 A	1	2	150	300	MS116
contatores	220 V; 10 A; com possibilidade de acoplar contatos auxiliares	1	7	115	805	AX12
contatos auxiliares para os contatores	contato NA	2, 3 e 4	6	23	138	CA5X-01
contatos auxiliares para os contatores	contato NF	2, 3 e 4	8	23	184	CA5X-02
transformador 300 Va	220/40V; 300 Va	1	1	-	0	
retificador CA/CC	ponte retificadora 10 A	1	1		0	
disjuntor curva C bifásico	2 polos; 10 A	1 e 2	3	30	90	Sh201t-c10
resistor de aquecimento 200 VA	220 V; 200 VA	1	1		0	
disjuntor curva C trifásico	3 polos; 6 A	2	1	80	80	S203-c6
relé falta de fase	220V	2	1	190	190	Cm pfe
comutadora 3 posições	comutadora 3 posições com 2 contatos NA	2	2	31	62	S/ret.2na
comutadora 2 posições	comutadora 2 posições com 2 contatos NA	2, 3 e 4	3	90	270	1SFA619200R1076
botão te pulso liga/desliga	botão liga/desliga com contato 1NF/3NA	2 e 3	1	-	0	-
contator auxiliar	contator auxiliar 2NA/2NF; 220 V	2	1	119	119	K6-22z-80
relé de tempo	relé de tempo em segundos; 220 V	2	2	75	150	CT-ERS-21
borne relé	borne relé 220 V; 3NA/1NF	2	2		0	
conjunto de ventilação e grelha	conjunto de ventilação e grelha 220 V	2	2		0	
sinalizador vermelho	sinalizador 220 V	2 e 3	4	40	160	CL-502
sinalizador verde	sinalizador 220 V	2	1	40	40	CL-502
sinalizador incolor	sinalizador 220 V	2	1	40	40	CL-502
comutadora 2 posições	comutadora 2 posições com 2 NA/1NF	3	4	144	576	M2SS2-10B MCB-10
comutadora 2 posições	comutadora 2 posições com 1NA	3	2	94	188	M2SS2-10B MCB-10
relé estrela triângulo	relé com dois contatos C/NA/NF	3	1	146	146	CT-YDE
contator auxiliar	contator auxiliar 6NA/2NF; 220 V	3	1	238	238	K6-22z-80
borne relé	220 V; 1NA	3	1			
fotocélula	220 V	3	1			
potenciômetro	de acordo com o manual do inversor	4	1			
bornes 4mm	bornes de entrada para trilho din	1	4			
bornes 2,5mm	bornes de força e comando para trilho din	1, 2, 3 e 4	28			
tampa	tampa para borne 4 mm	1	1			
tampa	tampa para borne 2,5 mm	1, 2, 3 e 4	3			
poste	poste para trilho din	1, 2, 3 e 5	4			
Preço total					R\$ 7,151.40	
Preço total mais consumíveis					R\$ 8,739.40	

Fonte: Autoria própria (2022)

Tabela 3 – ORÇAMENTO SIEMENS

Descrição da peça	informações elétricas	folha do projeto	quantidade	preço orçado (SIEMENS)	preço por quantidade (SIEMENS)	Código do produto
inversor de frequência 0,5 CV	220v; 0,5CV	1	1	1600	2160	6SL3210-5BB-13-7UV0
resistor de frenagem	de acordo com o manual do inversor	1	1	-	0	-
disjuntor motor 1,6 a 2,5 A	disjuntor curva D 1,6 a 2,5 A	1	2	160	320	3RV2
contatores	220 V; 10 A; com possibilidade de acoplar contatos auxiliares	1	7	72	504	3rt1015
contatos auxiliares para os contatores	contato NA	2, 3 e 4	6	50	100	3EH1911-1LA20
contatos auxiliares para os contatores	contato NF	2, 3 e 4	8	50	100	3EH1911-1LA21
transformador 300 Va	220/40V; 300 Va	1	1	-	0	
retificador CA/CC	ponte retificadora 10 A	1	1		0	
disjuntor curva C bifásico	2 polos; 10 A	1 e 2	3	46	138	210-7C
resistor de aquecimento 200 VA	220 V; 200 VA	1	1		0	
disjuntor curva C trifásico	3 polos; 6 A	2	1	115	115	5sx13047
relé falta de fase	220V	2	1	145	145	3ug0512-1as00
comutadora 3 posições	comutadora 3 posições com 2 contatos NA	2	2	108	216	3sb61302a1101na0
comutadora 2 posições	comutadora 2 posições com 2 contatos NA	2, 3 e 4	3	55	165	Br 600
botão te pulso liga/desliga	botão liga/desliga com contato 1NF/3NA	2 e 3	1	-	0	-
contator auxiliar	contator auxiliar 2NA/2NF; 220 V	2	1	95	95	3th4022-0an1
relé de tempo	relé de tempo em segundos; 220 V	2	2	80	160	7PU0611 2AW03
borne relé	borne relé 220 V; 3NA/1NF	2	2		0	
conjunto de ventilação e grelha	conjunto de ventilação e grelha 220 V	2	2		0	
sinalizador vermelho	sinalizador 220 V	2 e 3	4	40	160	3SB62166AA201AA0
sinalizador verde	sinalizador 220 V	2	1	40	40	3SB62166AA201AA0
sinalizador incolor	sinalizador 220 V	2	1	40	40	3SB62166AA201AA0
comutadora 2 posições	comutadora 2 posições com 2 NA/1NF	3	4	130	520	r 600 3SB340
comutadora 2 posições	comutadora 2 posições com 1NA	3	2	80	160	r 600 3SB340
relé estrela triângulo	relé com dois contatos C/NA/NF	3	1	95	95	7PU0571-1BF15
contator auxiliar	contator auxiliar 6NA/2NF; 220 V	3	1	190	190	3th4022-0an1
borne relé	220 V; 1NA	3	1			
fotocélula	220 V	3	1			
potenciômetro	de acordo com o manual do inversor	4	1			
bornes 4mm	bornes de entrada para trilho din	1	4			
bornes 2,5mm	bornes de força e comando para trilho din	1, 2, 3 e 4	28			
tampa	tampa para borne 4 mm	1	1			
tampa	tampa para borne 2,5 mm	1, 2, 3 e 4	3			
poste	poste para trilho din	1, 2, 3 e 5	4			
Preço total					R\$ 6,638.40	
Preço total mais consumíveis					R\$ 8,226.40	

Fonte: Autoria própria (2022)

Tabela 4 – ORÇAMENTO WEG

Descrição da peça	informações elétricas	folha do projeto	quantidade	preço orçado (WEG)	preço por quantidade (WEG)	Código do produto
inversor de frequência 0,5 CV	220v; 0,5CV	1	1	935	935	CFW500
resistor de frenagem	de acordo com o manual do inversor	1	1	-	0	-
disjuntor motor 1,6 a 2,5 A	disjuntor curva D 1,6 a 2,5 A	1	2	160	320	MPW18
contatores	220 V; 10 A; com possibilidade de acoplar contatos auxiliares	1	7	70	490	CW07
contatos auxiliares para os contatores	contato NA	2, 3 e 4	6	60	120	CWC07
contatos auxiliares para os contatores	contato NF	2, 3 e 4	8	60	120	CWC07
transformador 300 Va	220/40V; 300 Va	1	1	-	0	
retificador CA/CC	ponte retificadora 10 A	1	1		0	
disjuntor curva C bifásico	2 polos; 10 A	1 e 2	3	40	120	Mdw-b10
resistor de aquecimento 200 VA	220 V; 200 VA	1	1		0	
disjuntor curva C trifásico	3 polos; 6 A	2	1	42	42	Mdw-c10-3
relé falta de fase	220V	2	1	125	125	Rmw17-ff01d65
comutadora 3 posições	comutadora 3 posições com 2 contatos NA	2	2	65	130	CEW-CKM3F45-20000000
comutadora 2 posições	comutadora 2 posições com 2 contatos NA	2, 3 e 4	3	65	195	CEW-CKM3F45-20000000
botão te pulso liga/desliga	botão liga/desliga com contato 1NF/3NA	2 e 3	1	75	75	Csw-bd
contator auxiliar	contator auxiliar 2NA/2NF; 220 V	2	1	55	55	Caw04
relé de tempo	relé de tempo em segundos; 220 V	2	2	105	210	Rtw17-a
borne relé	borne relé 220 V; 3NA/1NF	2	2		0	
conjunto de ventilação e grelha	conjunto de ventilação e grelha 220 V	2	2		0	
sinalizador vermelho	sinalizador 220 V	2 e 3	4	63	252	12923060
sinalizador verde	sinalizador 220 V	2	1	63	63	12923060
sinalizador incolor	sinalizador 220 V	2	1	63	63	12923060
comutadora 2 posições	comutadora 2 posições com 2 NA/1NF	3	4	65	260	Csw-ck2f90 BC10F-CSW
comutadora 2 posições	comutadora 2 posições com 1NA	3	2	35	70	Csw-ck2f90 BC10F-CSW
relé estrela triângulo	relé com dois contatos C/NA/NF	3	1	150	150	Rmw17
contator auxiliar	contator auxiliar 6NA/2NF; 220 V	3	1	100	100	Caw04
borne relé	220 V; 1NA	3	1			
fotocélula	220 V	3	1			
potenciômetro	de acordo com o manual do inversor	4	1			
bornes 4mm	bornes de entrada para trilho din	1	4			
bornes 2,5mm	bornes de força e comando para trilho din	1, 2, 3 e 4	28			
tampa	tampa para borne 4 mm	1	1			
tampa	tampa para borne 2,5 mm	1, 2, 3 e 4	3			
poste	poste para trilho din	1, 2, 3 e 5	4			
Preço total					R\$ 5,110.40	
Preço total mais consumíveis					R\$ 6,698.40	

Fonte: Autoria própria (2022)

Tabela 5 – ORÇAMENTO PEÇAS DIVERSAS

Descrição da peça	informações elétricas	folha do projeto	quantidade	Produtos (diversas marcas)	Código do produto
inversor de frequência 0,5 CV	220v; 0,5CV	1	1		
resistor de frenagem	de acordo com o manual do inversor	1	1	200	
disjuntor motor 1,6 a 2,5 A	disjuntor curva D 1,6 a 2.5 A	1	2		
contatores	220 V; 10 A; com possibilidade de acoplar contatos auxiliares	1	7		
contatos auxiliares para os contatores	contato NA	2, 3 e 4	6		
contatos auxiliares para os contatores	contato NF	2, 3 e 4	8		
transformador 300 Va	220/40V; 300 Va	1	1	200	
retificador CA/CC	ponte retificadora 10 A	1	1	20	
disjuntor curva C bifásico	2 polos; 10 A	1 e 2	3		
resistor de aquecimento 200 VA	220 V; 200 VA	1	1	18	
disjuntor curva C trifásico	3 polos; 6 A	2	1		
relé falta de fase	220V	2	1		
comutadora 3 posições	comutadora 3 posições com 2 contatos NA	2	2		
comutadora 2 posições	comutadora 2 posições com 2 contatos NA	2, 3 e 4	3		
botão te pulso liga/desliga	botão liga/desliga com contato 1NF/3NA	2 e 3	1		
contator auxiliar	contator auxiliar 2NA/2NF; 220 V	2	1		
relé de tempo	relé de tempo em segundos; 220 V	2	2		
borne relé	borne relé 220 V; 3NA/1NF	2	2	140	TNA4RC3
conjunto de ventilação e grelha	conjunto de ventilação e grelha 220 V	2	2	246	METALTEX
signalizador vermelho	signalizador 220 V	2 e 3	4		
signalizador verde	signalizador 220 V	2	1		
signalizador incolor	signalizador 220 V	2	1		
comutadora 2 posições	comutadora 2 posições com 2 NA/1NF	3	4		
comutadora 2 posições	comutadora 2 posições com 1NA	3	2		
relé estrela triângulo	relé com dois contatos C/NA/NF	3	1		
contator auxiliar	contator auxiliar 6NA/2NF; 220 V	3	1		
borne relé	220 V; 1NA	3	1	40	METALTEX
fotocélula	220 V	3	1	30	VERBO
potenciômetro	de acordo com o manual do inversor	4	1	15	TOWER
bornes 4mm	bornes de entrada para trilho din	1	4	34.8	METALTEX
bornes 2,5mm	bornes de força e comando para trilho din	1, 2, 3 e 4	28	210	METALTEX
tampa	tampa para borne 4 mm	1	1	10	METALTEX
tampa	tampa para borne 2,5 mm	1, 2, 3 e 4	3	30	METALTEX
poste	poste para trilho din	1, 2, 3 e 5	4	21.6	METALTEX
Preço total				R\$ 1,215.40	
Preço total mais consumíveis					

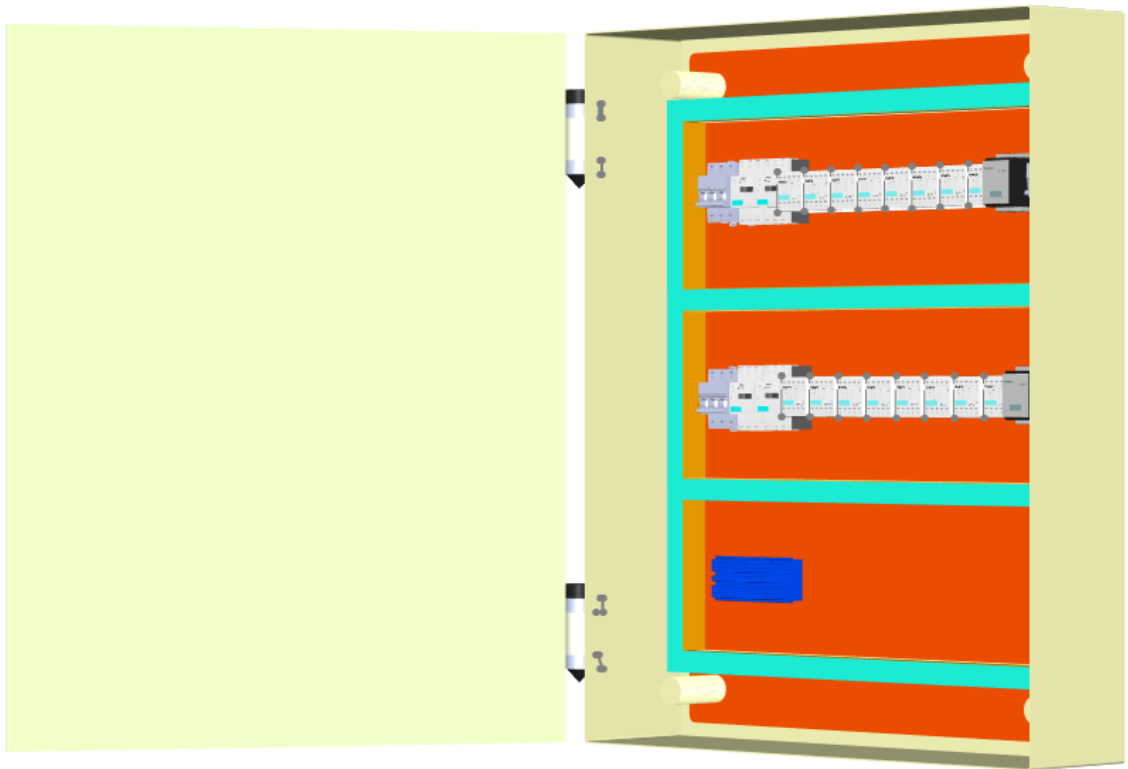
Tabela 6 – ORÇAMENTO CONSUMÍVEIS

Consumíveis					
ITEM	DESCRIÇÃO	QUANTIDADE	UNIDADE	Preço unitário	Preço total
Painel	1000x800x200	1	und	1150	1150
canaleta vazada 30x50	barra de canaleta	3	3	25	75
cabo 2,5mm	cabo isolamento PVC 70	1	rolo	80	80
cabo 0,50mm	cabo isolamento PVC 71	1	rolo	56	56
prensa cabo 1/2 pol		4	4	7	28
terminal 2,5mm simples	terminal 2,5mm simples; ilhos	1	pacote	12	12
terminal 2,5mm duplo	terminal 2,5mm duplo ilhos	1	pacote	20	20
terminal 1 mm simples	terminal 1 mm simples; ilhos	1	pacote	12	12
terminal 1mm duplo	terminal 1mm duplo; ilhos	1	pacote	20	20
trilho DIN	barra com 2 metros	3	barras	40	120
parafuso autobrocante 4,2mm	pacote com 100 unidades	1	pacote	15	15
Soma total					1588

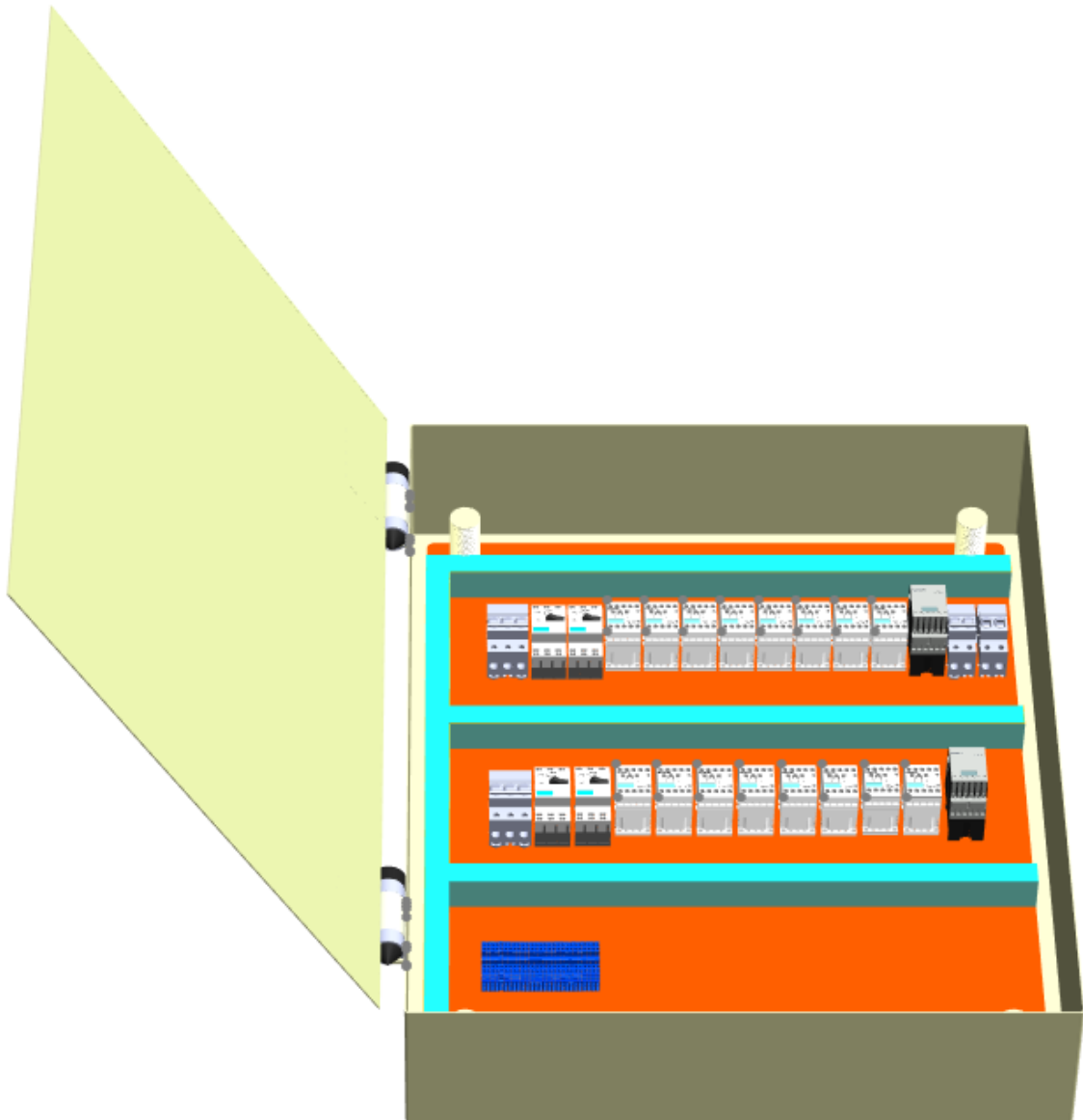
Autoria própria (2022)

APÊNDICE B
DESENHOS 3D DO PAINEL ELÉTRICO

Figura 25 – VISTA EM PERSPECTIVA



Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 26 – VISTA EM PERSPECTIVA

Fonte: Autoria própria (2022)

APÊNDICE C
MÉTODO FOTOSSENSÍVEL PARA CONFECÇÃO DE PLACAS

Com o *layout* impresso em folha de serigrafia transparente, este exemplificado na figura 16, inicia-se o processo fotossensível. O método em si, começa após a execução da limpeza da placa virgem com uma palha de aço, o propósito é retirar impurezas, fazendo com que a aplicação da tinta seja executada de maneira uniforme.

Posterior à limpeza da placa, aplica-se a tinta fotossensível sobre a camada de cobre da placa. A realização dessa tarefa pode ser feita de duas formas, com o uso de um compressor ou aplicando a tinta com um pincel e centrifugando a placa para retirar excessos de tinta. Em seguida será descrito como é executado cada um dos métodos de aplicação de tinta.

Caso seja utilizado um compressor, a tinta deve ser diluída com solvente até perder sua viscosidade, podendo ser expelida no bico da pistola do aerógrafo. Deve-se aplicar mais de uma demão de tinta, entre as aplicações é necessário que a tinta seque a uma temperatura de aproximadamente $60^{\circ}C$, podendo ser utilizado soprador térmico ou outros métodos para agilizar o processo.

Outra forma de se realizar a aplicação da tinta é também dissolvendo-a, mas manter um pouco de sua viscosidade e aplicando-a com um pincel, de forma uniforme sobre a placa. Pós aplicação deve-se centrifugá-la, girando-a a uma certa velocidade para que os excessos de tinta sejam expelidos, garantindo a homogeneidade da tinta sobre o cobre. Pós centrifugação da placa, deve-se seca-la com o soprador térmico, novamente, na mesma temperatura que foi descrita no processo anterior.

Após a aplicação da tinta sobre o cobre e secagem da mesma, conduz-se o método em direção a etapa de cura da tinta. Este processo se dá fixando a folha serigráfica sobre a placa de cobre e expondo-a a radiação ultra violeta, este processo é exemplificado pela figura 27.

De acordo com Nucleares (2022), tintas curáveis são produtos líquidos e reativos compostos por resinas, diluentes e aditivos. Ainda, segundo o autor, estas soluções quando submetidas à radiação ultra violeta ou feixe de elétrons, sofrem ações de polimerização e reticulação, formando um filme polimérico sólido sem a evaporação de solventes. Ou seja, conforme o material fornecido por Escola (2022), cita que polimerização é o processo de formação de macromoléculas, no caso moléculas de maior tamanho, denominadas de polímeros, que são formadas a partir de moléculas de menor tamanho. Contudo, o processo de cura da tinta se dá pelo endurecimento e secagem da mesma.

Posterior a cura da tinta, tem-se o procedimento de revelação do circuito, para isso utiliza-se o carbonato de sódio diluído em água, esta reação forma dois tipos de substâncias, o ácido carbônico e hidróxido de sódio. Com isso, a parte da tinta que está sobre o cobre que não foi exposta à radiação UV, terá seus elétrons retirados mais facilmente pelo ácido, assim a tinta será removida da placa, formando as trilhas de tinta que irão proteger o cobre da ação do perclorato de ferro citado no capítulo 8.

Figura 27 – Processo de cura da tinta



Fonte: Aatoria própria (2022)