



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS
CAMPUS PALMAS
CURSO SUPERIOR ENGENHARIA ELÉTRICA**

**BRENDA CASSAGO DE ASSIS
GUILHERME SILVA DE MIRANDA**

**SIMULADOR DE DEFEITOS PARA CIRCUITOS DE PARTIDA DIRETA COM
REVERSÃO**

**PALMAS
2022**

BRENDA CASSAGO DE ASSIS
GUILHERME SILVA DE MIRANDA

**SIMULADOR DE DEFEITOS PARA CIRCUITOS DE PARTIDA DIRETA COM
REVERSÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial para
obtenção do Título de Engenheiros
Eletricistas do Curso de Graduação de
Engenharia Elétrica do Instituto Federal do
Tocantins – *Campus* Palmas.

Orientador: Dr. Valci Ferreira Victor.

PALMAS

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas do Instituto Federal do Tocantins

A848s Assis, Brenda Cassago de
 SIMULADOR DE DEFEITOS PARA CIRCUITOS DE PARTIDA
 DIRETA COM REVERSÃO / Brenda Cassago de Assis, Guilherme
 Silva de Miranda. – Palmas, TO, 2022.
 101 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia
Elétrica) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do
Tocantins, Campus Palmas, Palmas, TO, 2022.

Orientador: Dr. Valci Ferreira Victor

1. Comandos Elétricos. 2. Simulador de Defeitos. I. Miranda,
Guilherme Silva de. II. Victor, Valci Ferreira III. , . IV. Título.

CDD 621

A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio, deste documento é autorizada para fins
de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica do IFTO com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a).**

BRENDA CASSAGO DE ASSIS
GUILHERME SILVA DE MIRANDA

**SIMULADOR DE DEFEITOS PARA CIRCUITOS DE PARTIDA DIRETA COM
REVERSÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial para
obtenção do Título de Engenheiros
Eletricistas do Curso de Graduação de
Engenharia Elétrica do Instituto Federal do
Tocantins – *Campus* Palmas.

Aprovado em: 14/12/2022

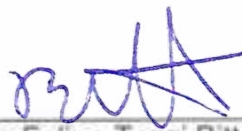
BANCA EXAMINADORA



Doutor Valci Ferreira Victor
Orientador
IFTO – CAMPUS PALMAS



Mestre Kaisson Teodoro de Souza
IFTO – CAMPUS PALMAS



Mestre Felipe Tozzi Bittencourt
IFTO – CAMPUS PALMAS



Engenheiro Gerlan Carlos Silva
SENAI

AGRADECIMENTOS

A Deus, por nos ter abençoado com essa oportunidade, por nunca nos abandonar e não nos deixar desistir.

A empresa Inove Solar e Engenharia, pois sem seu patrocínio esse projeto não seria possível.

Aos nossos pais, por todo apoio, incentivo e paciência, sem vocês nós não chegaríamos até aqui.

A todos que cruzaram o nosso caminho e nos ajudaram de alguma forma.

RESUMO

O presente trabalho aborda a construção de um simulador de defeitos, em circuitos de comandos elétricos, prático e de baixo custo, a fim de capacitar o estudantes de Engenharia Elétrica e, principalmente, os estudantes de Eletrotécnica do IFTO *Campus* Palmas, para que eles se tornem aptos para solucionar problemas no âmbito profissional. Para isso, foram analisados os estudos já realizados e os simuladores disponíveis no mercado, de maneira que fossem compreendidas as formas de se aplicar os defeitos no circuito e as deficiências do mercado. Com isso, o simulador foi construído com aleatoriedade no tipo de defeito e possui algumas falhas não apresentadas nos simuladores do mercado. Por fim, o equipamento se mostrou viável, pelo baixo custo, pela praticidade e inovação.

Palavras-chave: Simulador de defeitos. Comandos Elétricos. Capacitação.

ABSTRACT

The present work is about the development of a low-cost and practical simulator of defects, in circuits of electrical commands, in order to qualify the students of Electrical Engineering and, mainly, the ones of the Electrotechnics course in IFTO Campus Palmas, so that they become able to solve faults in these circuits in the professional field. For this reason, previous studies and the simulators available in the market were analyzed, as a means to understand the manners of applying the defects in the circuit and the deficiencies of the market. As a result, the simulator was built with randomness in the defect insertion and has some faults not available in other existing simulators. Finally, the equipment proved to be viable, due to its low-cost, practicality and innovation.

Keywords: Fault simulator. Electrical Commands. Training.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Simbologia do contato NA	17
Figura 2 – Simbologia do contato NF	17
Figura 3 – Simbologia do interruptor no diagrama de comandos elétricos	17
Figura 4 – Simbologia da chave seletora no diagrama de comandos elétricos	18
Figura 5 – Simbologia da botoeira NA no diagrama de comandos elétricos	18
Figura 6 – Indicação da mola na botoeira NA.....	19
Figura 7 – Diagrama contator	20
Figura 8 – Diagrama do contato de selo.....	20
Figura 9 – Partida direta de motor trifásico.....	21
Figura 10 – Partida direta com reversão de motor trifásico	22
Figura 11 – Diagrama de potência partida estrela-triângulo	23
Figura 12 – Diagrama de comando partida estrela-triângulo.....	23
Figura 13 – Indicação do filamento de um fusível exemplo	24
Figura 14 – Construção interna de relé térmico.....	25
Figura 15 – Exemplo de sinalizadores.....	25
Figura 16 – Exemplo de contato de relé temporizador	26
Figura 17 – Exemplo da bobina do relé temporizador	26
Figura 18 – Exemplo de relé temporizador.....	26
Figura 19 – Kit chave de partida com simulador de defeitos da WEG.....	32
Figura 20 – Diagrama de potência	33
Figura 21 – Diagrama de comandos parte 1	34
Figura 22 – Diagrama de comandos parte 2	34
Figura 23 – Diagrama de comandos parte 3	35
Figura 24 – Diagrama de comandos com os defeitos parte 1	37
Figura 25 – Diagrama de comandos com os defeitos parte 2	37
Figura 26 – Diagrama de comandos com os defeitos parte 3	38
Figura 27 – Parte externa do painel didático	39
Figura 28 – Parte interna do painel didático	39
Figura 29 – Diagrama de potência e de comandos	40
Figura 30 – Diagrama de potência e de comandos com os defeitos	41
Figura 31 – Menu inicial da ferramenta didática	42
Figura 32 – Jogo indicando “Resposta incorreta”	42

Figura 33 – Diagrama de força do ambiente virtual.....	43
Figura 34 – Diagrama de comandos elétricos do ambiente virtual	43
Figura 35 – Painel frontal do SEPD.....	45
Figura 36 – Parametrização do SEPD.....	45
Figura 37 – Tipos de falhas no sistema.....	46
Figura 38 – Diagrama do circuito base	50
Figura 39 – Diagrama do simulador	51
Figura 40 – Defeito 01	56
Figura 41 – Defeito 01 implementado.....	56
Figura 42 – Defeito 02	57
Figura 43 – Defeito 02 implementado.....	57
Figura 44 – Defeito 03	58
Figura 45 – Defeito 03 implementado.....	59
Figura 46 – Defeito 04	60
Figura 47 – Defeito 04 implementado.....	60
Figura 48 – Defeito 05	62
Figura 49 – Defeito 05 implementado.....	62
Figura 50 – Defeito 06	63
Figura 51 – Defeito 06 implementado.....	64
Figura 52 – Defeito 07	65
Figura 53 – Defeito 07 implementado.....	65
Figura 54 – Defeito 08	66
Figura 55 – Defeito 08 implementado.....	66
Figura 56 – Defeito 09	67
Figura 57 – Defeito 09 implementado.....	68
Figura 58 – Defeito 10	69
Figura 59 – Defeito 10 implementado.....	69
Figura 60 – Defeito 11	70
Figura 61 – Defeito 11 implementado.....	70
Figura 62 – Intertravamento de K1	71
Figura 63 – Defeito 12	72
Figura 64 – Módulo relé.....	73
Figura 65 – Simulação do display LCD em operação.....	74
Figura 66 – Diagrama eletrônica	75

Figura 67 – Diagrama com os bornes	76
Figura 68 – Disposição dos componentes no interior do painel	79
Figura 69 – Arte utilizada na plotagem do painel.....	80
Figura 70 – Exterior do painel finalizado	81
Figura 71 – Interior do painel finalizado.....	81
Figura 72 – Foto do circuito desenhado na placa de fenolite virgem.....	82
Figura 73 – Foto da placa de fenolite virgem após passar pela solução	82

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Resumo da simbologia utilizada em comandos elétricos (continua).....	27
Quadro 2 – Resumo dos defeitos (continua)	53
Quadro 3 – Resumo dos defeitos (continuação)	54
Quadro 4 – Resumo dos defeitos (conclusão).....	55
Quadro 5 – Materiais utilizados (continua)	77
Quadro 6 – Custo do simulador (continua).....	84
Quadro 7 – Comparativo entre o simulador WEG e o construído (continua).....	85

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Problema de pesquisa	14
1.2	Justificativa.....	14
1.3	Objetivos	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1	Comandos elétricos	16
2.1.1	Contatos	16
2.1.1.1	<i>Contato NA e NF</i>	<i>16</i>
2.1.1.2	<i>Chaves</i>	<i>17</i>
2.1.1.3	<i>Botoeira</i>	<i>18</i>
2.1.2	Contator.....	19
2.1.2.1	<i>Contato de selo</i>	<i>20</i>
2.1.2.2	<i>Intertravamento</i>	<i>21</i>
2.1.3	Acionamento de motores elétricos	21
2.1.3.1	<i>Partida direta</i>	<i>21</i>
2.1.3.2	<i>Partida direta com reversão</i>	<i>22</i>
2.1.3.3	<i>Partida Y-Δ.....</i>	<i>22</i>
2.1.4	Dispositivos de proteção	24
2.1.4.1	<i>Fusível.....</i>	<i>24</i>
2.1.4.2	<i>Relé térmico</i>	<i>24</i>
2.1.5	Sinalizadores.....	25
2.1.6	Relé temporizador	26
2.1.7	Simbologia.....	27
2.2	Falhas em comandos elétricos	28
2.2.1	Defeitos mecânicos no contator	28
2.2.1.1	<i>Contator não fecha.....</i>	<i>28</i>
2.2.1.2	<i>Parte fixa e móvel não se soltam quando o contator é desenergizado</i>	<i>29</i>
2.2.1.3	<i>Bobina superaquecida.....</i>	<i>29</i>
2.2.1.4	<i>Barulho anormal</i>	<i>29</i>

2.2.1.5	<i>Contato fundido</i>	29
2.2.3	Mau contato.....	30
2.2.4	Mau dimensionamento dos componentes	30
2.2.4.1	<i>Contator</i>	30
2.2.4.2	<i>Relé térmico</i>	30
2.2.4.3	<i>Condutores</i>	31
2.2.4.4	<i>Fusível</i>	31
2.3	Simuladores de defeitos	31
2.3.1	Simulador WEG.....	32
2.3.1.1	<i>Defeitos aplicáveis</i>	35
2.3.2	Simulador Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium de Araçatuba	38
2.3.2.1	<i>Defeitos aplicáveis</i>	40
2.3.3	Simulador Universidade Federal de Campina Grande	41
2.3.3.1	<i>Defeitos aplicáveis</i>	44
2.3.4	Sistema especialista para detecção de falhas em comandos elétricos (SEPD)	44
2.3.4.1	<i>Defeitos aplicáveis</i>	46
2.4.1	Análise dos simuladores encontrados	46
3	METODOLOGIA	48
3.1	Escolha do circuito base	48
3.2	Escolha dos defeitos	48
3.3	Forma de aplicação dos defeitos	49
3.4	Forma de construção do simulador	49
4	DESENVOLVIMENTO	50
4.1	Circuito base	50
4.2	Estudo e elaboração do diagrama com defeitos	50
4.2.1	Escolha dos defeitos	51
4.2.2	Diagrama com os defeitos.....	51
4.2.2.1	<i>Defeito 01</i>	55
4.2.2.2	<i>Defeito 02</i>	56
4.2.2.3	<i>Defeito 03</i>	58

4.2.2.4	<i>Defeito 04</i>	59
4.2.2.5	<i>Defeito 05</i>	61
4.2.2.6	<i>Defeito 06</i>	63
4.2.2.7	<i>Defeito 07</i>	64
4.2.2.8	<i>Defeito 08</i>	65
4.2.2.9	<i>Defeito 09</i>	66
4.2.2.10	<i>Defeito 10</i>	68
4.2.2.11	<i>Defeito 11</i>	69
4.2.2.12	<i>Defeito 12</i>	71
4.2.3	<i>Aplicação dos defeitos</i>	72
4.2.3.1	<i>Aleatoriedade</i>	73
4.2.3.2	<i>Diagrama da eletrônica</i>	74
4.2.3.3	<i>Planejamento dos bornes</i>	75
4.3	Construção do simulador	76
4.3.1	<i>Materiais utilizados</i>	77
4.3.2	<i>Processo de montagem</i>	78
4.4	Manuais de utilização	83
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	84
5.1	Viabilidade econômica	84
5.2	Sugestões para os próximos trabalhos	86
	REFERÊNCIAS	88
	APÊNDICES	90
	ANEXOS	101

1 INTRODUÇÃO

Os Comandos Elétricos estão presentes em toda a matriz industrial, sendo responsáveis, principalmente, pelo acionamento de máquinas elétricas trifásicas e monofásicas, através de uma série de componentes.

Além das máquinas, estão inclusos nos circuitos de comandos elétricos os dispositivos de proteção, botoeiras, chaves, LEDs, contadores, relés, entre outros, estes são responsáveis pela proteção, acionamento, controle e sinalização.

A automação industrial que se conhece atualmente teve como ponto de partida os comandos elétricos, assim, é notória a importância desse estudo, pois através dessa tecnologia é possível termos acionamentos automáticos como esteiras em indústrias, desacionamento de motores em horário de pico, elevadores de carga através de sensores e muito mais.

No âmbito educacional, existem ferramentas que simulam erros nos circuitos de comandos elétricos, a fim de capacitar os acadêmicos. No entanto, observa-se que numa análise mais acurada, é possível ampliar o poder dos simuladores agregando a estes uma série de possibilidades, trabalhando-se com modificações simples e de baixo custo.

Dessa forma, este trabalho busca estudar os simuladores disponíveis no mercado, assim como os trabalhos já feitos sobre o tema, a fim de propor a construção de um simulador de defeitos no IFTO Campus Palmas.

1.1 Problema de pesquisa

Estudo e proposta de construção de um simulador de defeitos para circuito de comandos elétricos.

1.2 Justificativa

Nas salas de aula o estudante, na maioria das vezes, é ensinado sobre os dispositivos, os tipos de ligação de motor e elaboração de diagrama de comandos elétricos.

Ao entrar no mercado de trabalho, os estudantes se deparam com a manutenção de circuitos de comandos elétricos, sendo necessário identificar os problemas, solucioná-los e entender o porquê de eles terem ocorrido.

Por não serem apresentados a essas situações durante as aulas/treinamentos, acabam demorando muito para solucionar os problemas, podendo até piorá-los.

Visto isso, foi entendida a importância desse contato pelos estudantes, isso seria possível com treinamento através de simulador, assim os estudantes podem adquirir experiência na identificação e correção de defeitos em circuitos de comandos elétricos antes de enfrentar situações com defeitos reais.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem como objetivo proporcionar aos graduandos de Engenharia Elétrica e, principalmente, de Eletrotécnica, uma ferramenta que possibilite maior aprendizado na área de comandos elétricos.

1.3.2 Objetivos específicos

- a)** Estipular quais simulações de defeitos serão utilizadas no simulador;
- b)** Estudar como as simulações serão construídas no circuito de comandos elétricos;
- c)** Testar o diagrama de comandos criado;
- d)** Realizar análise de viabilidade econômica para montagem do simulador no IFTO - Campus Palmas; e
- e)** Construir o simulador de defeitos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Comandos elétricos

O diagrama de Comandos Elétricos é um conjunto de dispositivos que organizados em determinada lógica, consegue realizar a ação desejada.

Esse recurso é comumente utilizado em acionamentos de motores em indústrias, com ele é possível, por exemplo, ligar e desligar o equipamento de forma segura, sinalizar problemas e/ou energização, controlar o sentido de rotação do motor, a forma de acionamento dele e muitas outras possibilidades.

Para que isso seja possível, são usados componentes como o contator, botoeiras, chaves, relés, sinalizadores e etc. Além dos dispositivos de acionamento propriamente, dispositivos para a proteção do circuito, e/ou dos outros componentes, também são utilizados.

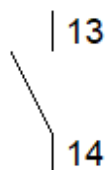
2.1.1 Contatos

Nos comandos elétricos são utilizados vários tipos e combinações de contatos, eles podem ser com retenção ou sem, cada elemento em um circuito de comandos possui uma representação normalmente aberto (NA) e ou normalmente fechado (NF).

2.1.1.1 Contato NA e NF

Um contato pode ter dois estados distintos, em repouso (quando desacionado), seu estado natural, e estado de operação (quando acionado), sua representação é feita por meio de números. É importante ressaltar que em um diagrama os contatos sempre são representados em seu estado natural.

O contato NA (Normalmente Aberto), também chamado de NO no inglês (*Normal Open*), é aquele que em estado natural apresenta-se aberto (conforme Figura 1), ou seja, quando o dispositivo em que pertencem está desacionado seus terminais encontram-se desconectados, comutando para o estado fechado quando o dispositivo entra em operação. Outra diferença deste contato é a numeração, contatos normalmente abertos possuem numeração final 3-4, exemplo: 13-14, 23-24, etc.

Figura 1 – Simbologia do contato NA

Fonte: CADe SIMU (2020).

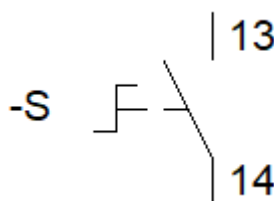
O contato NF (Normalmente Fechado), também chamado de NC no inglês (*Normal Closed*) é aquele que em seu estado natural apresenta-se fechado (conforme Figura 2), ou seja, quando o dispositivo em que pertencem está desacionado seus terminais encontram-se conectados, comutando para o estado aberto quando o dispositivo entra em operação. Neste tipo de contato a numeração é outra, tendo final 1-2, exemplo: 11-12, 21-22, etc.

Figura 2 – Simbologia do contato NF

Fonte: CADe SIMU (2020).

2.1.1.2 Chaves

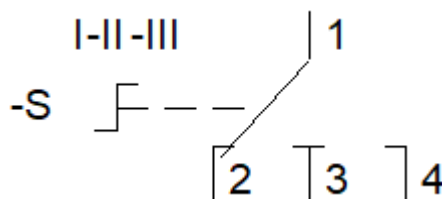
As chaves são sinalizadas no diagrama com a letra S, como mostra a Figura 3. Elas possuem retenção, ou seja, quando manuseada a comutação será mantida até que um indivíduo troque sua posição, ou volte para a posição inicial.

Figura 3 – Simbologia do interruptor no diagrama de comandos elétricos

Fonte: CADe SIMU (2020).

A chave pode ser como os interruptores de lâmpadas, como o exemplo da Figura 3, possuir apenas duas opções de comutação, circuito fechado ou aberto. Também é possível que ela seja uma chave seletora, contendo várias opções de combinações de contatos em um único dispositivo, que pode ser observado na Figura 4.

Figura 4 – Simbologia da chave seletora no diagrama de comandos elétricos

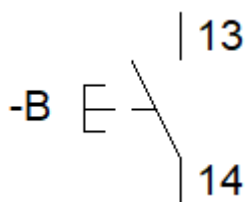


Fonte: CADe SIMU (2020).

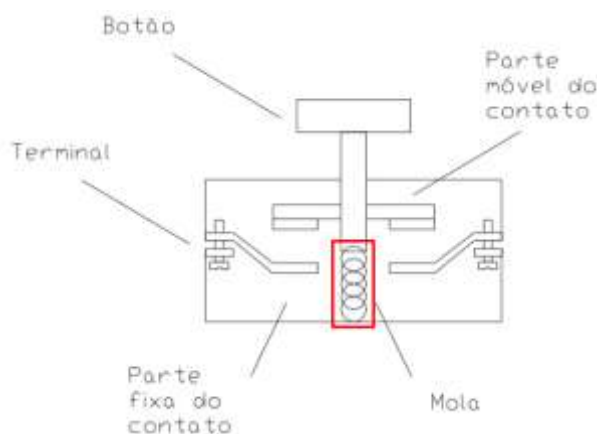
2.1.1.3 Botoeira

São indicadas no diagrama através da letra B, como é possível ver na Figura 5, elas não possuem retenção, logo assim que o indivíduo deixa de pressioná-las ela retorna para a sua posição de origem, isso é possível devido a mola existente neste dispositivo, mostrada na Figura 6.

Figura 5 – Simbologia da botoeira NA no diagrama de comandos elétricos



Fonte: CADe SIMU (2020).

Figura 6 – Indicação da mola na botoeira NA

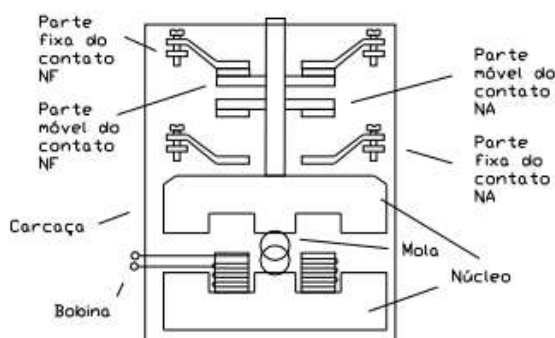
Fonte: Adaptado Apostila de Comandos Elétricos, Valci Ferreira Victor.

Podem ser NA ou NF, as NAs são usadas geralmente para acionamento de contator, por meio do contato de selo (será abordado mais adiante), enquanto que as NFs para abrir o circuito, de forma a desenergizá-lo.

2.1.2 Contator

Componente eletromecânico, utilizado para acionamento e proteção de cargas, tendo como principal função permitir a comutação de circuitos elétricos com altos valores de corrente. É um dos principais dispositivos no âmbito de comandos elétricos, que possibilita realizar o acionamento de cargas a distância, dessa forma pode-se ter um sistema mais prático a partir da utilização do mesmo.

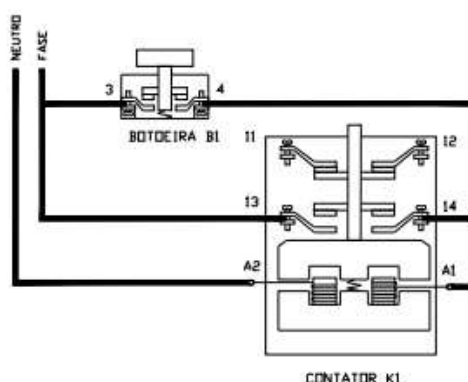
O contator consiste basicamente em um eletroímã de duas partes, uma fixa e outra móvel, conforme a Figura 7, separadas por uma mola. A parte móvel encontra-se envolvida por uma bobina, que ao ser energizada produz um campo magnético que irá fazer com que a força de atração eletromagnética vença a resistência da mola, fazendo com que as duas partes do núcleo se juntem. A parte móvel está acoplada a uma série de contatos e ao se deslocar carrega consigo esses contatos, abrindo-os ou fechando-os. Quando desenergizada a bobina, essa parte móvel retorna a sua posição de origem, o que por consequência faz com que os contatos voltem a sua posição de repouso.

Figura 7 – Diagrama contator

Fonte: Apostila de Comandos Elétricos, Valci Ferreira Victor.

2.1.2.1 Contato de selo

Para que a bobina do contator se mantenha energizada, usa-se o contato de selo, este é o 13 e o 14 (NA) do contator. O esquema de ligação é mostrado na Figura 8, a fase passa pela botoeira NA (sem retenção), é ligada no contato 14 do contator, e é jumpeada para o A1 da bobina, a botoeira ficará em paralelo com o contato de selo, a fase também é conectada no contato 13 do contator. No A2 da bobina é conectado o neutro, nos contadores 127/220 V, ou a outra fase, nos contadores 220/380 V.

Figura 8 – Diagrama do contato de selo

Fonte: Apostila de Comandos Elétricos, Valci Ferreira Victor.

Dessa forma, quando o indivíduo pressionar a botoeira, o circuito fechará e a bobina do contator será energizada, atraindo o ferromagnético, fazendo com que o contato NF se abra e o contato NA se feche, logo a bobina permanecerá alimentada através do contato NA.

Essa configuração é uma proteção para o circuito, caso ocorra uma falta na rede, por exemplo, quando o sistema voltar o contator não acionará automaticamente.

2.1.2.2 Intertravamento

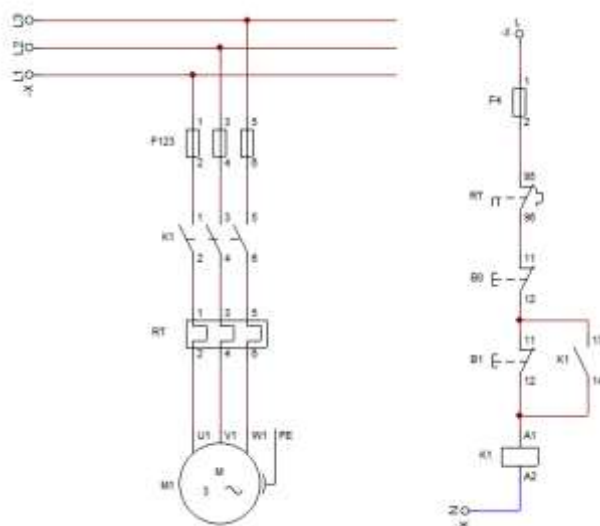
Para que a bobina do contator se mantenha energizada, usa-se o contato de selo, este é o 13 e o 14 (NA) do contator. O esquema de ligação é mostrado na Figura 8, a fase passa pela botoeira NA (sem retenção), é ligada no contato 14 do contator, e é jumpeada para o A1 da bobina, a botoeira ficará em paralelo com o contato de selo, a fase também é conectada no contato 13 do contator. No A2 da bobina é conectado o neutro, nos contadores 127/220 V, ou a outra fase, nos contadores 220/380 V.

2.1.3 Acionamento de motores elétricos

2.1.3.1 Partida direta

É considerada como a forma mais simples de partir um motor. Neste tipo de partida o motor recebe alimentação diretamente da fonte de geração, sofrendo interferência apenas dos dispositivos de seccionamento, o diagrama dessa ligação pode ser observado na Figura 9.

Figura 9 – Partida direta de motor trifásico

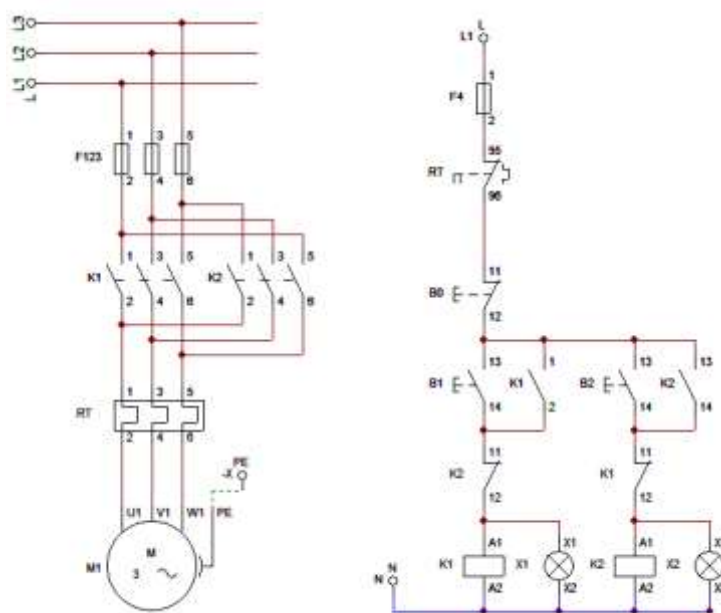


Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

2.1.3.2 Partida direta com reversão

Partida utilizada quando há necessidade de inverter o sentido de rotação do motor. Partindo da teoria do campo girante, sabe-se que para que o rotor saia da inércia é necessário que haja defasagem de 120° entre as fases. Invertendo duas das três fases de alimentação, inverte-se o sentido do campo girante e consequentemente o sentido de rotação do rotor. No diagrama da Figura 10 tem-se o diagrama de comando e potência para uma partida direta com reversão, onde o contator K2 é responsável por realizar a reversão no sentido de rotação da máquina, alimentando a máquina com a sequência de fases invertida.

Figura 10 – Partida direta com reversão de motor trifásico



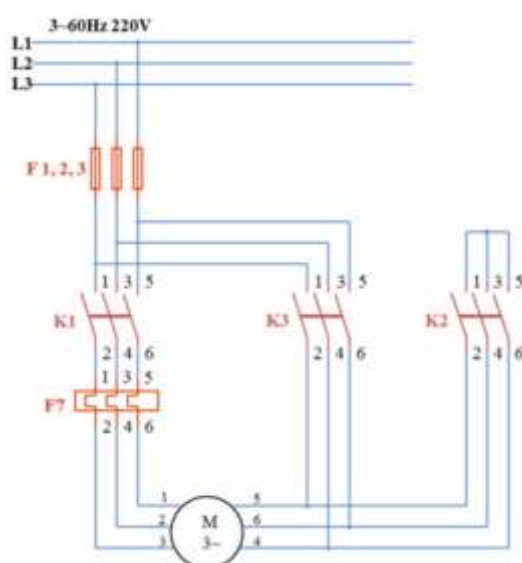
Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

2.1.3.3 Partida Y-Δ

Sabe-se que a corrente de partida de um motor equivale a aproximadamente 8 a 9 vezes a corrente nominal do mesmo, a fim de diminuir a corrente de partida aplica-se durante a mesma um nível de tensão menor (fechamento em delta), e, após a partida, aplica-se tensão nominal na máquina (fechamento em estrela), esse tipo de partida é chamada estrela-triângulo, a Figura 11 traz o seu diagrama.

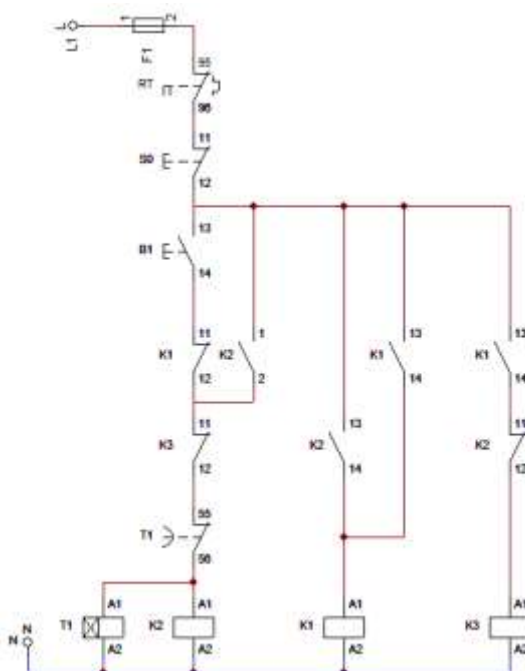
Para esse tipo de partida se faz necessário o uso de três contatores, como mostra a Figura 12, um desses contatores deve ficar acionado durante todo o funcionamento da máquina, enquanto os outros dois são responsáveis por fazer o fechamento em estrela e triângulo, é importante ressaltar que esses dois contatores não podem ser acionados ao mesmo tempo.

Figura 11 – Diagrama de potência partida estrela-triângulo



Fonte: 10 partidas de motores que você precisa conhecer (2014).

Figura 12 – Diagrama de comando partida estrela-triângulo



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

2.1.4 Dispositivos de proteção

Existem dispositivos que têm como função proteger a instalação elétrica, o circuito, ou parte dele, ou até mesmo um equipamento específico. A proteção é realizada observando, basicamente, a mudança de dois parâmetros: tensão e corrente.

2.1.4.1 Fusível

Os fusíveis atuam de acordo com a corrente elétrica do circuito onde estão inseridos. Quando a corrente ultrapassa a estabelecida para o circuito (que é a mesma para qual o fusível foi dimensionado), o filamento, indicado na Figura 13, é rompido por conta do efeito Joule, o que abrirá o circuito e manterá o mesmo desenergizado.

Figura 13 – Indicação do filamento de um fusível exemplo



Fonte: catálogo de produtos da loja online Dimensional (2022).

2.1.4.2 Relé térmico

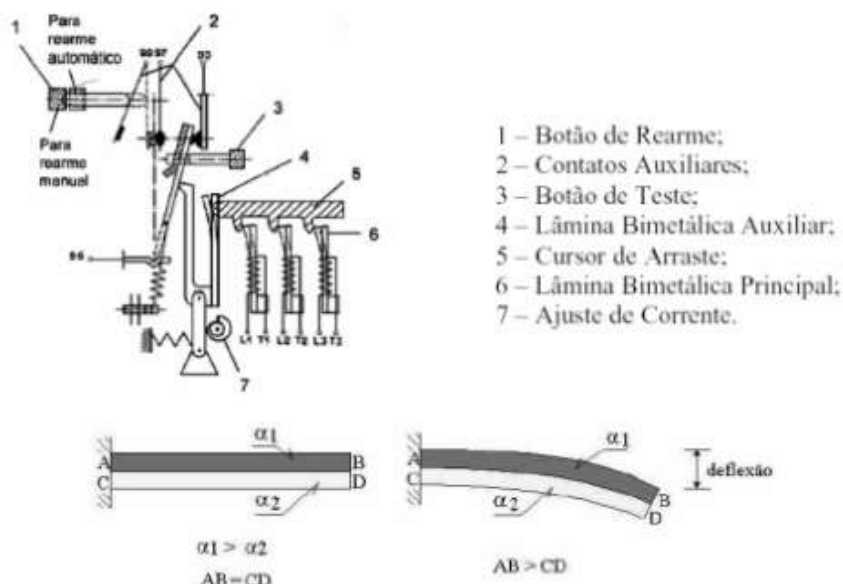
Também chamado de relé de sobrecarga, é um componente utilizado para proteção de circuitos/equipamentos, principalmente aqueles que possuem motores elétricos.

É um dispositivo capaz de identificar e proteger o circuito contra sobrecargas advindas de bloqueio no rotor, falta de fase, tempo de partida prolongado e todos os eventos que façam com que haja elevação de temperatura no circuito.

Possui em sua construção lâminas bimetálicas em que os metais que a constituem possuem coeficiente de dilatação diferentes, que é possível visualizar na Figura 14. Seu funcionamento se dá por meio da dilatação da lâmina bimetálica, que ocorre quando há sobrecarga e a corrente que passa pelo relé é suficiente para sobreaquecer as lâminas além do valor de seu coeficiente de dilatação. Ao se dilatarem, essas lâminas se separam e os contatos NC e NO irão comutar. O relé

possui um disco no qual consegue-se ajustar a corrente de acionamento do relé, um botão para teste manual e opção de ajuste para acionamento automático ou manual.

Figura 14 – Construção interna de relé térmico



Fonte: Apostila de Comandos Elétricos, Valci Ferreira Victor.

2.1.5 Sinalizadores

Dispositivos para sinalização são muito utilizados nos circuitos de comandos elétricos, podem ser visuais ou sonoros. São importantes para informar as condições do sistema ao operador, se o sistema está ligado, se houve alguma falha, se alguma intervenção é necessária, etc.

A Figura 15 mostra alguns exemplos de sinalizadores.

Figura 15 – Exemplo de sinalizadores

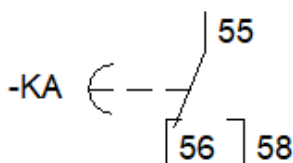


Fonte: ficha técnica da linha de botões de comando e sinalização da Tron (2022).

2.1.6 Relé temporizador

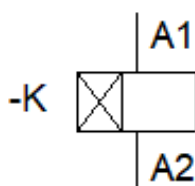
Os relés temporizadores são utilizados em situações onde uma comutação “automática” é necessária. Geralmente possui dois tipos de contatos, NF (15-16) e NA (15-18) como é possível observar na Figura 16, esse dispositivo possui uma bobina que deve ser alimentada (Figura 17) e um disco para ajustar o seu tempo de atuação.

Figura 16 – Exemplo de contato de relé temporizador



Fonte: CAdE SIMU (2020).

Figura 17 – Exemplo da bobina do relé temporizador



Fonte: CAdE SIMU (2020).

Existem alguns tipos de relé temporizador: com retardo na energização, com retardo na desenergização, com ambos os retardos anteriores, de ligação estrela-triângulo e o cíclico.

Caso o relé tenha retardo na energização, depois que alimentado, ele contará o tempo ajustado e comutará os seus contatos quando o tempo finalizar.

A Figura 18 traz um exemplo de relé temporizador.

Figura 18 – Exemplo de relé temporizador

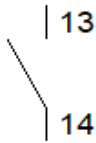
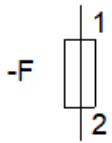
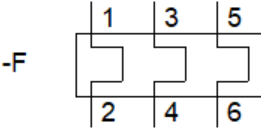
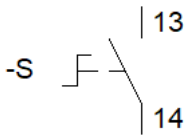
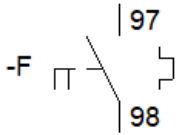
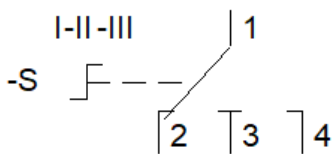
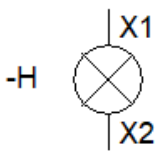
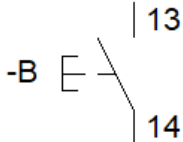
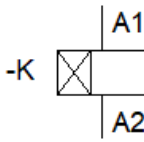
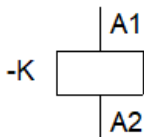
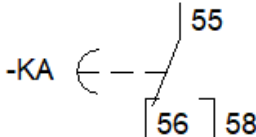


Fonte: Apostila Comandos Elétricos Industriais (2016).

2.1.7 Simbologia

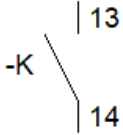
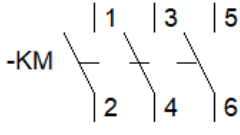
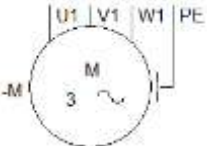
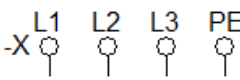
O Quadro 1 traz as simbologias que serão abordadas neste trabalho, serão consideradas as simbologias do CADe SIMU.

Quadro 1 – Resumo da simbologia utilizada em comandos elétricos (continua)

Símbolo	Componente	Símbolo	Componente
	Contato normalmente aberto (NA).		Fusível, não atuado neste caso.
	Contato normalmente fechado (NF).		Relé térmico, contatos de potência.
	Interruptor, NA neste caso.		Contato de comando do relé térmico.
	Chave seletora.		LED de sinalização.
	Botoeira sem retenção, NA neste caso.		Bobina do relé temporizador com retardo na energização.
	Bobina do contator.		Contato NF+NA do relé temporizador com retardo na energização.

Fonte: CADe SIMU (2020).

Quadro 1 – Resumo da simbologia utilizada em comandos elétricos (conclusão)

Símbolo	Componente	Símbolo	Componente
	Contato do contator, NA neste caso.		Contatos de potência do contator.
	Motor elétrico trifásico.		Alimentação trifásica com terra.

Fonte: CADe SIMU (2020).

2.2 Falhas em comandos elétricos

Assim como todos os elementos dentro de uma indústria, os componentes que constituem os quadros de comandos também necessitam de manutenções, tendo em vista que em muitos casos não é feita, o que faz com que o comando apresente defeitos ao longo do tempo. Em seguida serão expostos os problemas recorrentes em comandos elétricos.

2.2.1 Defeitos mecânicos no contator

Por ser um componente eletromecânico que é acionado e desacionado com frequência, pode apresentar defeitos devido ao desgaste relacionado ao esforço mecânico que é realizado pelo componente.

2.2.1.1 Contator não fecha

Quando energizada a bobina do contator, ele deve fechar imediatamente, liberando a passagem de corrente para a carga e comutando seus contatos. Se o nível de tensão for o necessário para gerar um campo magnético, que faça com que as duas partes do núcleo se juntem, vencendo a resistência da mola e acionando o componente, e mesmo assim ele não fechar, pode-se presumir que a bobina está desconectada/queimada.

Para verificar, se faz necessário o uso de um multímetro, que deve ser colocado na escala de continuidade. Ao colocar as ponteiros do multímetro nos contatos A1 e A2 o mesmo deve apresentar uma leitura indicando que há resistência, o que indica que a bobina está conectada e não está queimada, caso contrário, indica que o componente está com defeito.

2.2.1.2 Parte fixa e móvel não se soltam quando o contator é desenergizado

Cessada a energização da bobina, deixa de existir campo magnético capaz de manter as duas partes do núcleo juntas, ou seja, a resistência da mola será maior que o campo magnético, assim o contator irá abrir, impedindo a passagem de corrente para carga. Se ao desenergizar a bobina, o contator continuar fechado, presume-se que a pressão da mola não está sendo suficiente para fazer o componente voltar ao seu estado natural (aberto), ou que a parte móvel do núcleo esteja emperrada. Em ambos os casos é necessário abrir o componente para verificação.

2.2.1.3 Bobina superaquecida

Ocasionado em grande parte por mal contato no fechamento do componente, que não fecha com firmeza. A sujeira no componente pode ser um fator agravante para esse tipo de defeito.

2.2.1.4 Barulho anormal

Pode ser provocado por sujeira dentro do entreferro, rompimento do anel de curto-circuito, oxidação do núcleo do componente, queda de tensão proveniente da partida de motores e, também, níveis de tensão e frequência de alimentação inadequados. Defeito que pode ser identificado por inspeção auditiva.

2.2.1.5 Contato fundido

Defeito ocasionado por elevações de temperatura, provenientes de curto-circuito ou sobrecarga no componente.

2.2.3 Mau contato

Defeito ocasionado na maioria dos casos por falta de aperto em conexões, acarretando em pontos quentes dentro do circuito, o que pode provocar, além de risco de curto-circuito, perda de energia por efeito joule.

2.2.4 Mau dimensionamento dos componentes

Fazer o dimensionamento de forma coerente com o sistema é fundamental para garantir o bom funcionamento do mesmo, e a proteção de forma correta. Ao dimensionar a proteção para um sistema deve-se tomar cuidado para não subdimensionar ou superdimensionar os componentes, garantindo que estes atuem de forma correta.

2.2.4.1 Contator

O contator deve ser dimensionado de acordo com a sua categoria de emprego e corrente nominal da carga onde a corrente nominal deste componente deve ser 1,15 vezes maior que a corrente nominal da carga, além disso, deve-se observar o nível de tensão de operação do componente e da rede.

O superdimensionado gera gastos desnecessários, visto que quanto maior a potência do contator maior o seu preço. Já o subdimensionamento, traz prejuízos ao componente, como a corrente que fluirá por ele será maior que a corrente que o componente foi projetado para suportar, o que pode ocasionar na queima da sua bobina.

2.2.4.2 Relé térmico

O dimensionado deste componente é feito de acordo com a corrente nominal da carga que se deseja proteger. A corrente deste dispositivo deve ser 1,15 vezes maior que a corrente da carga, para temperatura ambiente menor que 40° C, e 1,25 vezes maior que a corrente da carga para temperatura igual a 40° C.

O mal dimensionamento desse dispositivo, provoca a atuação do mesmo sem que haja necessidade, ou que não atue quando necessário.

2.2.4.3 Condutores

No Brasil, o dimensionado dos condutores deve ser feito seguindo a tabela 31 da norma NBR 5410, sendo mais utilizado o método de instalação B1.

O subdimensionamento do cabo provoca a queima do mesmo, por conta do efeito joule que é intensificado neste caso, visto que a corrente terá um espaço menor do que o necessário para percorrer. Quando ocorre o superdimensionamento, o único prejuízo é financeiro, pois quanto maior a bitola do condutor, maior é o valor cobrado pelo mesmo.

2.2.4.4 Fusível

No dimensionamento deste componente, deve ser observado o tipo adequado para cada aplicação, que leva em consideração a relação IP/IN (corrente de partida/corrente nominal) da carga, tempo de partida, tempo de interrupção da corrente de curto-circuito e corrente suportada pelo condutor. É importante ressaltar que a corrente do fusível deve ser menor que suportada pelo condutor, para que o circuito seja protegido de forma eficiente.

O subdimensionamento deste dispositivo de proteção faz com que ele atue de forma desnecessária, interrompendo o funcionamento do circuito sem que haja necessidade.

O superdimensionamento fará com que o circuito fique desprotegido, pois, dessa forma, correntes de valores superiores às suportadas pelos componentes irão circular sem que o fusível atue.

2.3 Simuladores de defeitos

Os simuladores de defeitos de comandos elétricos, geram falhas que ocorrem no cotidiano do profissional atuante dessa área, para que seja possível treinar futuros profissionais sem depender de faltas reais.

Os fabricantes/pesquisadores/estudantes estudam os defeitos que ocorrem nesses sistemas, e aplicam eles por meio de criação de *software*, desenvolvimento de jogo, construção de painel físico, enfim, como o criador desejar.

Porém, observou-se que no mercado atual não há uma gama muito vasta de simuladores, sendo que foi encontrado apenas 2 simuladores de defeitos disponíveis para aquisição, enquanto que no âmbito acadêmico foram encontrados 3, totalizando 5 simuladores. Dentre eles, há simuladores que foram construídos fisicamente, outro construído em *software* e até mesmo um em formato de jogo.

O IFTO Campus Palmas possui algumas bancadas do simulador Powersystem 3400 da DK8, este, além de simular defeitos, possui a bancada didática para montagem de circuitos de comandos elétricos, foi um dos equipamentos encontrados na pesquisa que está disponível para compra. Porém, como não foi encontrado o seu manual, com o diagrama da bancada e a descrição do funcionamento dos defeitos, ele não será abordado neste trabalho. Restará, portanto, 4 simuladores para análise.

2.3.1 Simulador WEG

O Kit chave de partida com simulador de defeitos da WEG, mostrado na Figura 19, é um equipamento com o circuito de defeitos montado fisicamente. O defeito desejado é selecionado comutando a chave referente a ele, e o(a) estudante(a) deve realizar testes, com um simples voltímetro, até encontrar a origem do problema.

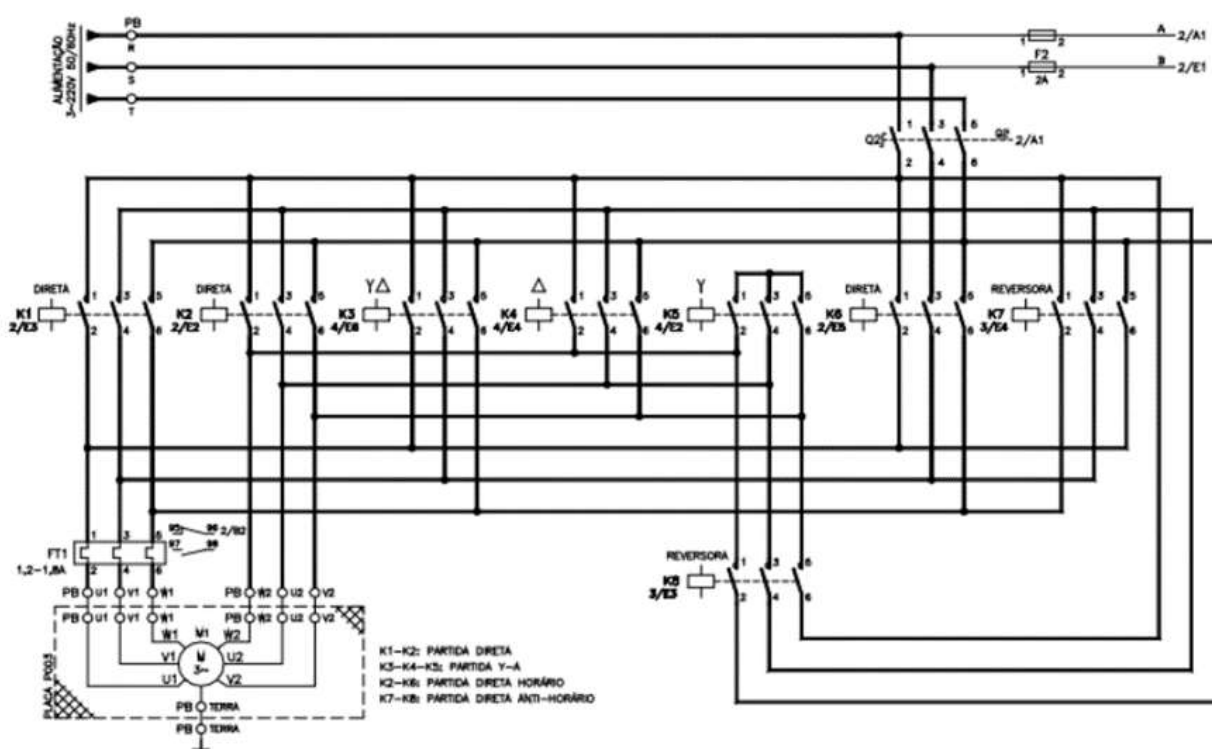
Figura 19 – Kit chave de partida com simulador de defeitos da WEG



Fonte: Catálogo de produtos da WEG (2022).

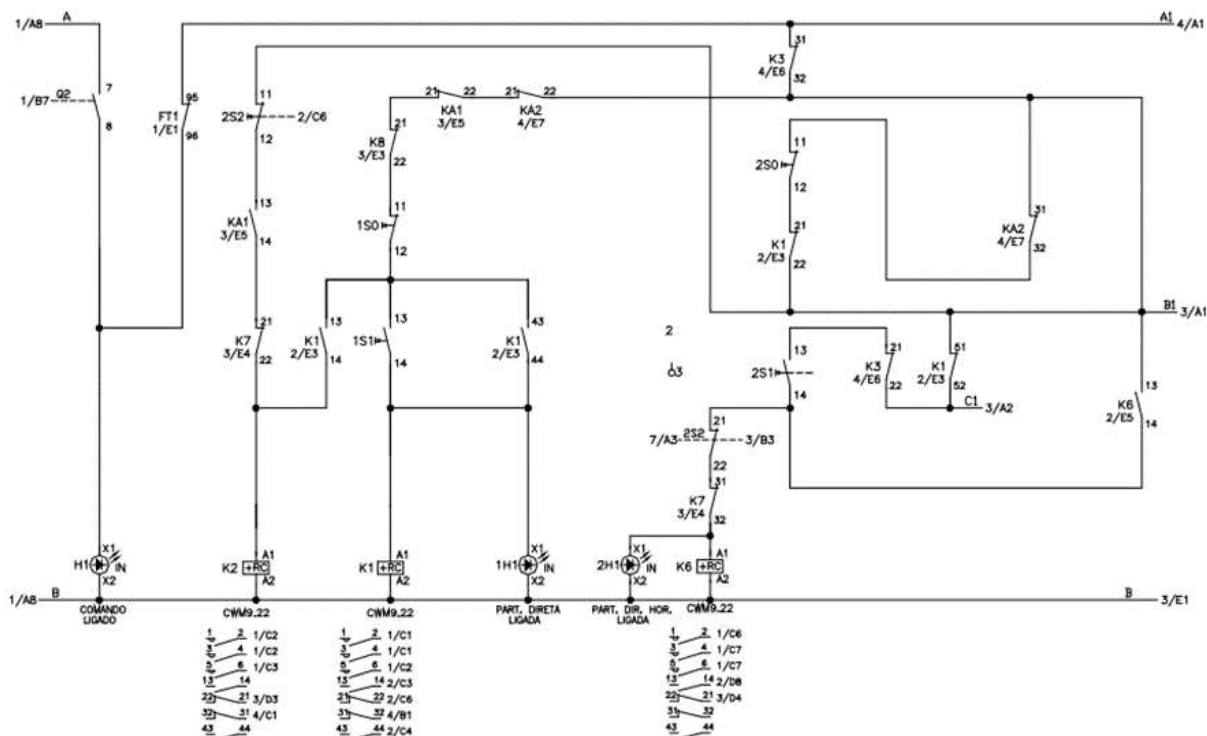
As falhas são aplicadas nos circuitos de comandos de partida direta, de partida direta com reversão e de partida Y- Δ (estrela-triângulo). O diagrama de potência pode ser observado na Figura 20, e o de comandos na Figura 21, Figura 22 e Figura 23, o seu diagrama de comandos é dividido em 3 partes para facilitar a visualização, pois são muitos componentes.

Figura 20 – Diagrama de potência



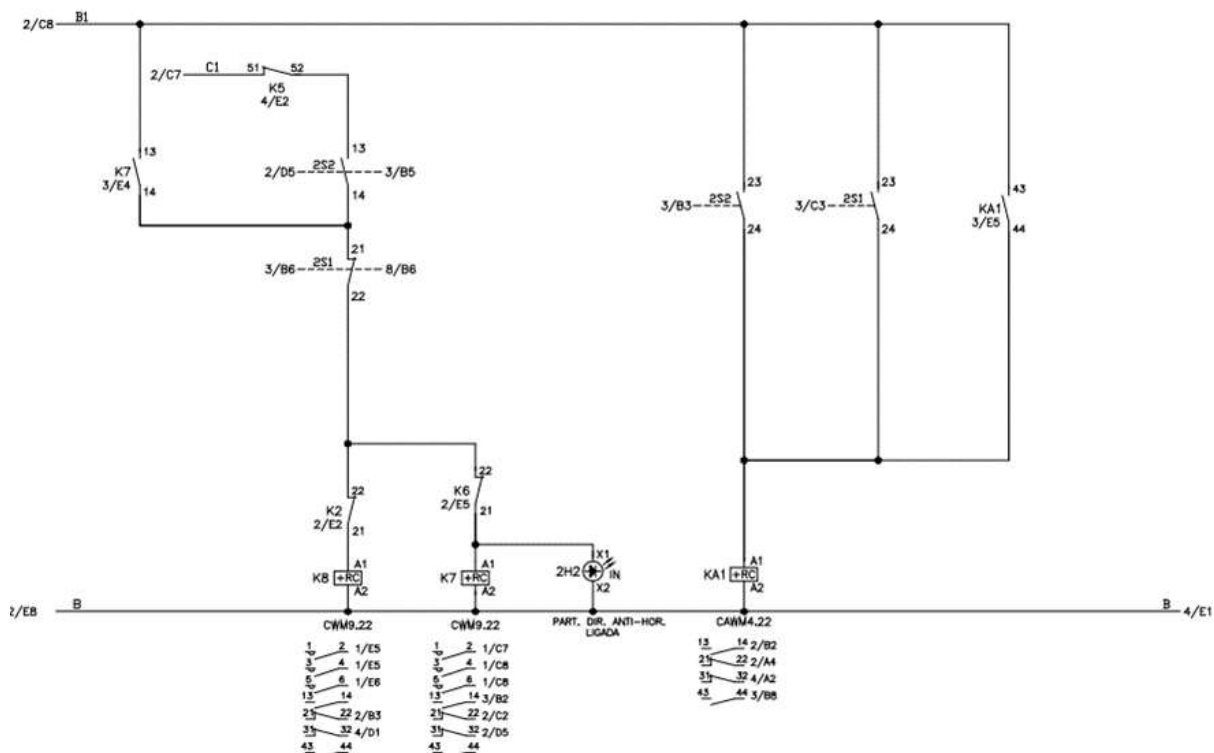
Fonte: Kit chave de partida com simulador de defeitos WEG (2009).

Figura 21 – Diagrama de comandos parte 1



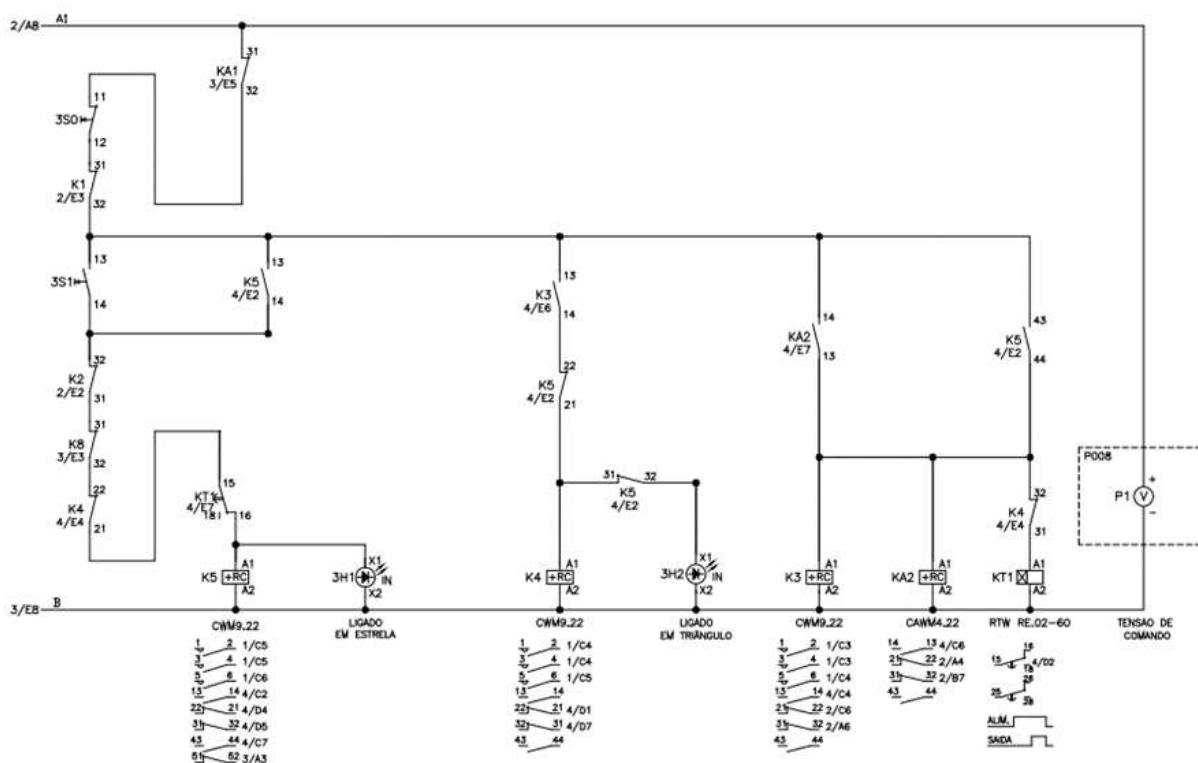
Fonte: Kit chave de partida com simulador de defeitos WEG (2009).

Figura 22 – Diagrama de comandos parte 2



Fonte: Kit chave de partida com simulador de defeitos WEG (2009).

Figura 23 – Diagrama de comandos parte 3



Fonte: Kit chave de partida com simulador de defeitos WEG (2009).

O manual disponibilizado pela empresa, possui um roteiro para auxiliar na identificação dos defeitos, orientações gerais e os diagramas, de potência e de comandos, com e sem falhas.

2.3.1.1 Defeitos aplicáveis

O simulador da WEG possui 24 simulações diferentes de defeitos, a inserção desses defeitos é feita através de chaves, de forma a abrir uma parte do circuito ou curto-circuitá-la, diagrama na Figura 24, Figura 25 e Figura 26, sendo que a maioria deles é possível ser aplicada somente de forma individual. Segue lista das suas falhas:

- Defeito 1 – Impede de ligar o comando geral;
- Defeito 2 – Impede desligar a partida direta e sinalização;
- Defeito 3 – Liga a partida direta assim que alimentar a chave geral;
- Defeito 4 – Impede ligar sinalização da partida direta;
- Defeito 5 – Impede ligar o contator da partida direta;
- Defeito 6 – Impede ligar a partida direta;

Defeito 7 – Impede ligar sinalização da alimentação geral;

Defeito 8 – Impede ligar o voltímetro da tensão de comando;

Defeito 9 – Impede ligar partida reversora sentidos horário e anti-horário;

Defeito 10 – Liga sinalização e K6 da partida reversora, sentido horário;

Defeito 11 – Liga direto a sinalização da partida reversora e o sentido anti-horário;

Defeito 12 – Impede a retenção do contator da partida reversora sentido anti-horário;

Defeito 13 – Impede ligar a partida estrela-triângulo;

Defeito 14 – Impede desligar a partida reversora em ambos os sentidos;

Defeito 15 – Impede a ligar a partida reversora no sentido anti-horário;

Defeito 16 – Impede ligar a partida reversora no sentido horário (através do bloqueio

do contator K2) e impede ligar a partida direta;

Defeito 17 – Retém os contadores K2 e KA1;

Defeito 18 – Impede desligar a partida estrela-triângulo;

Defeito 19 – Impede a transferência de estrela para triângulo;

Defeito 20 – Liga sinalização em triângulo no momento em que o motor está ligado

em estrela;

Defeito 21 – Impede ligar a partida estrela-triângulo através do contator K3;

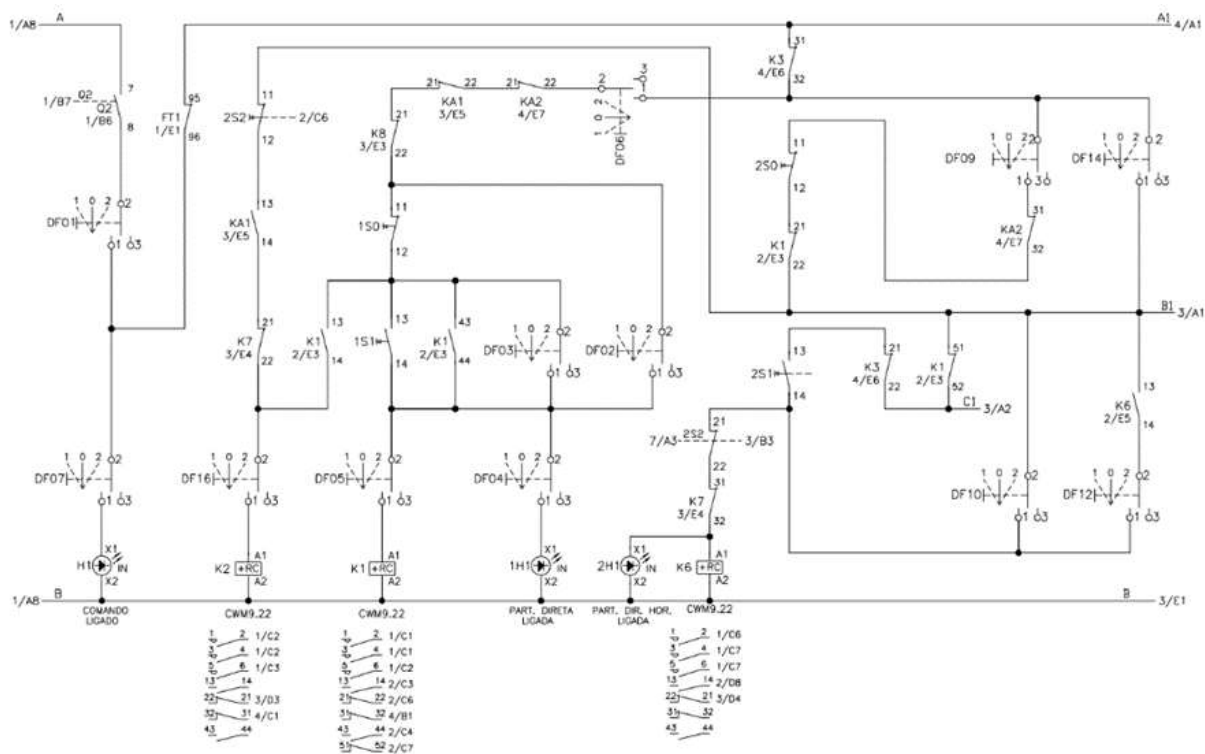
Defeito 22 – Impede ligar a partida reversora no sentido horário quando o sentido

anti-horário estiver ligado;

Defeito 23 – Liga direto a partida estrela-triângulo;

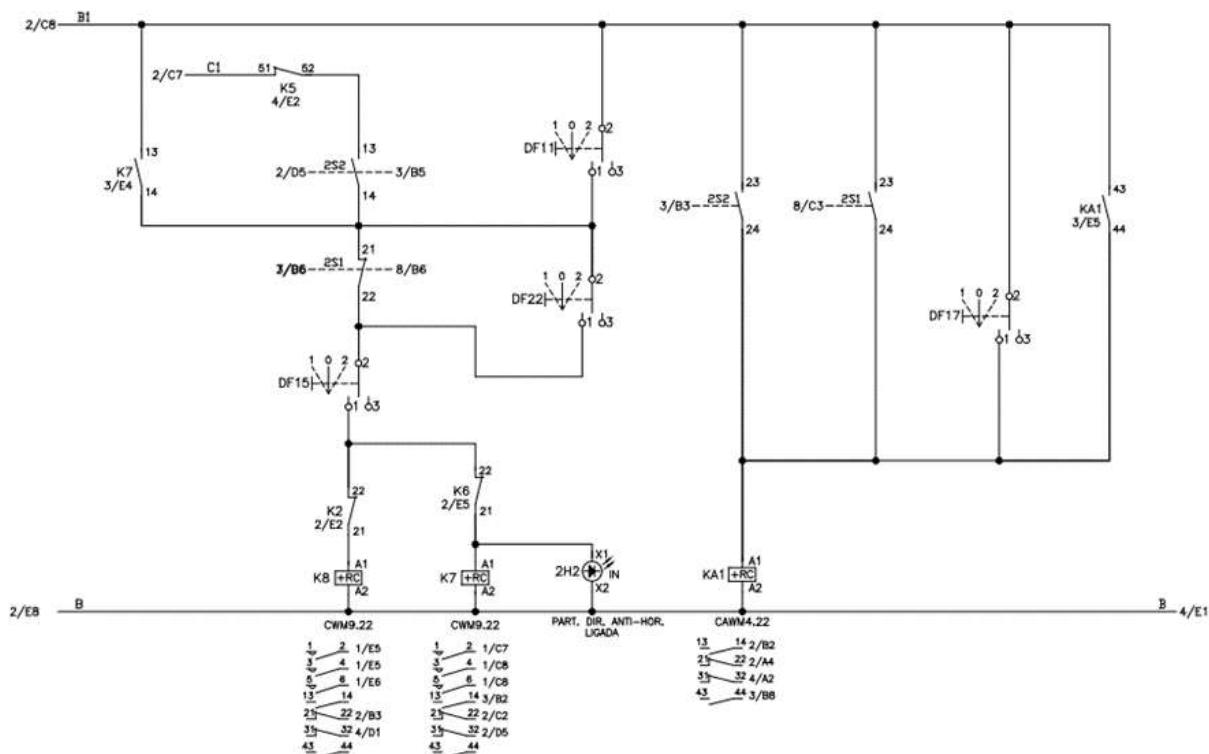
Defeito 24 – Liga a partida estrela-triângulo diretamente em triângulo.

Figura 24 – Diagrama de comandos com os defeitos parte 1



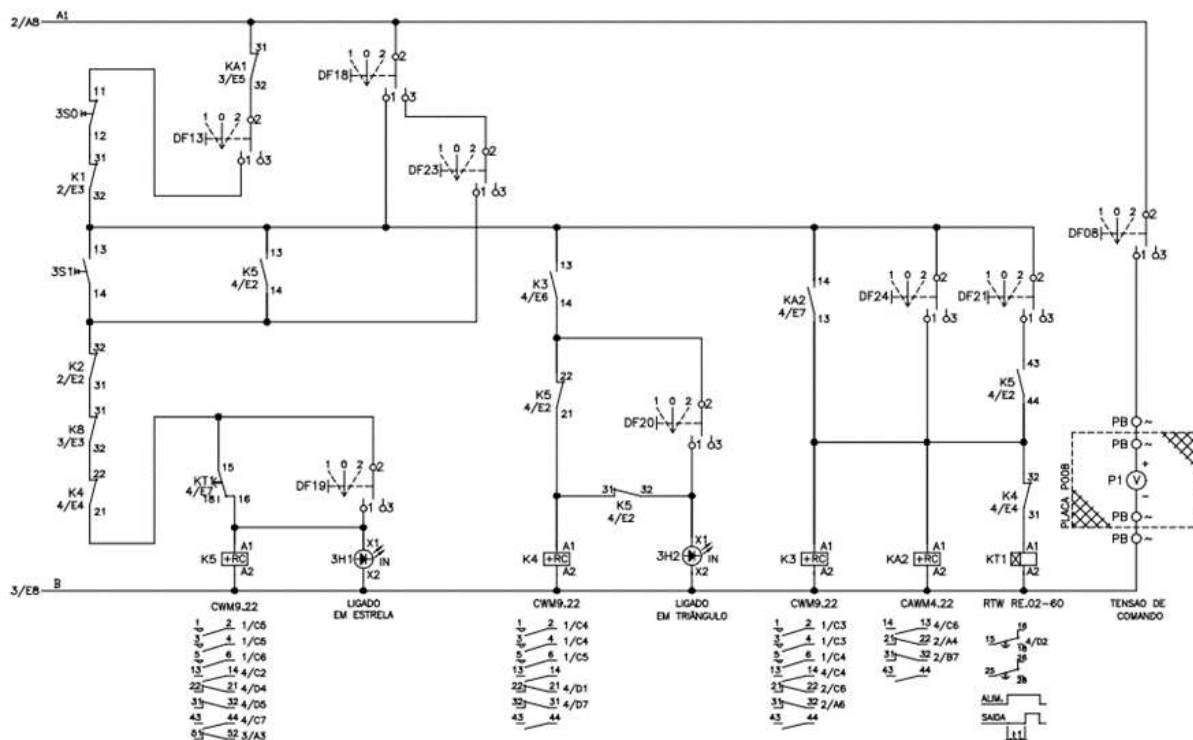
Fonte: Kit chave de partida com simulador de defeitos WEG (2009).

Figura 25 – Diagrama de comandos com os defeitos parte 2



Fonte: Kit chave de partida com simulador de defeitos WEG (2009).

Figura 26 – Diagrama de comandos com os defeitos parte 3



Fonte: Kit chave de partida com simulador de defeitos WEG (2009).

2.3.2 Simulador Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium de Araçatuba

Em 2015, um grupo de acadêmicos do curso de Engenharia Elétrica, do Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium de Araçatuba, formando por Jeferson Faustino da Silva, Thiago Rodrigues da Silva e Aline Emy Takiy de Oliveira (doutora, orientadora e docente do curso), em um artigo intitulado como “Painel de comandos elétricos didático com simulação de falhas”, criou e construiu um painel de acionamento simples de partida direta com reversão, que pode ser observado na Figura 27 e Figura 28, com simulador de defeitos.

Figura 27 – Parte externa do painel didático



Fonte: Painel de comandos elétricos didático com simulação de falhas (2015).

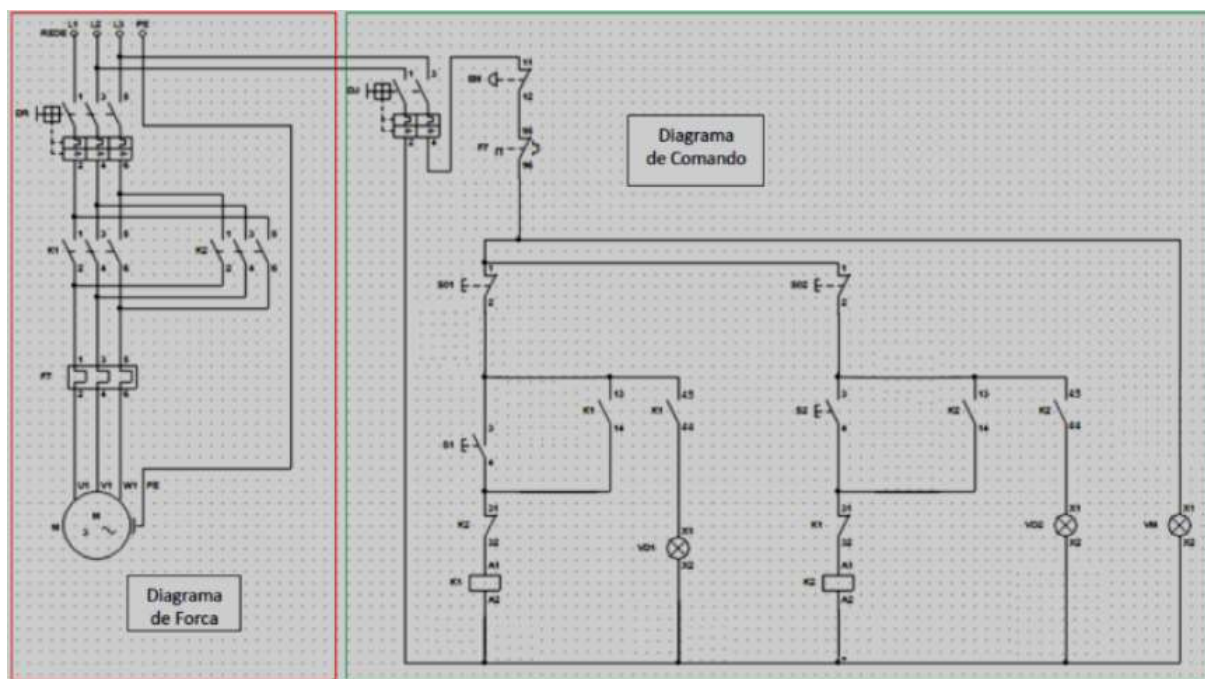
Figura 28 – Parte interna do painel didático



Fonte: Painel de comandos elétricos didático com simulação de falhas (2015).

O diagrama desse projeto, sem os defeitos, pode ser visto na Figura 29. O artigo elaborado pelo grupo traz o diagrama com e sem defeito, também expõe as falhas desse sistema e explica como ela podem ser resolvidas.

Figura 29 – Diagrama de potência e de comandos



Fonte: Painel de comandos elétricos didático com simulação de falhas (2009).

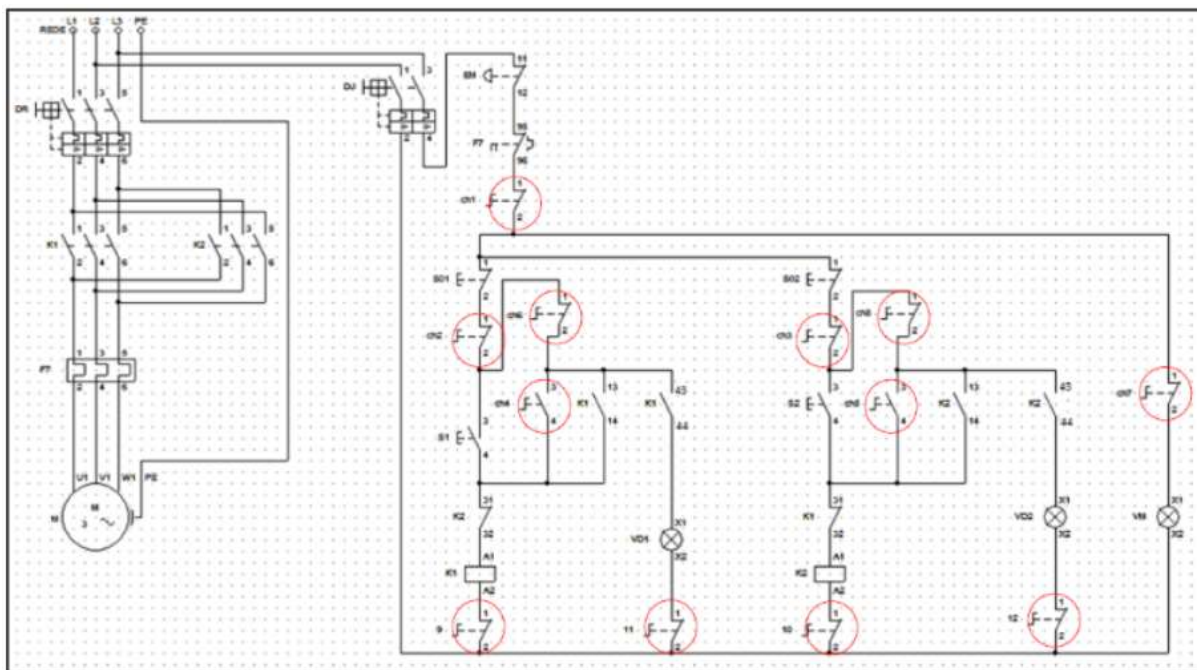
2.3.2.1 Defeitos aplicáveis

Este projeto conta com 12 defeitos, o diagrama com eles inseridos é mostrado na Figura 30, que foram implementados através de chaves que simulam curto-circuito e circuito aberto. Segue abaixo a lista dos defeitos, segundo os autores, desse sistema:

- Defeito 1 - Não alimenta o circuito;
- Defeito 2 - Não aciona K1;
- Defeito 3 - Não aciona K2;
- Defeito 4 - K1 fica acionado direto;
- Defeito 5 - K2 fica acionado direto;
- Defeito 6 - K1 só funciona se segurar;
- Defeito 7 - S1Led vermelho não acende;
- Defeito 8 - K2 só funciona se segurar S2;
- Defeito 9 - Problema na bobina de K1;
- Defeito 10 - Problema na bobina de K2;
- Defeito 11 - Led Verde da Partida Direta não liga;

Defeito 12 - Led Verde da Reversão não liga.

Figura 30 – Diagrama de potência e de comandos com os defeitos



Fonte: Painel de comandos elétricos didático com simulação de falhas (2009).

2.3.3 Simulador Universidade Federal de Campina Grande

Em 2018, a graduanda em Engenharia Elétrica Grace Danielle Porto de Freitas Colaço, da Universidade Federal de Campina Grande, produziu em seu Trabalho de Conclusão de Curso, uma ferramenta didática, em plataforma digital, baseada em multimídia interativa para identificar e analisar defeitos em quadro de comandos elétricos sem riscos.

Esta ferramenta foi criada a partir do *software Construt 2*, uma plataforma utilizada para criação de jogos 2D, com base na linguagem de programação HTML 5. Sua interface pode ser observada na Figura 31 e na Figura 32.

Figura 31 – Menu inicial da ferramenta didática



Fonte: Ferramenta didática baseada em multimídia interativa para identificar e analisar defeitos em quadros de comandos industriais (2018).

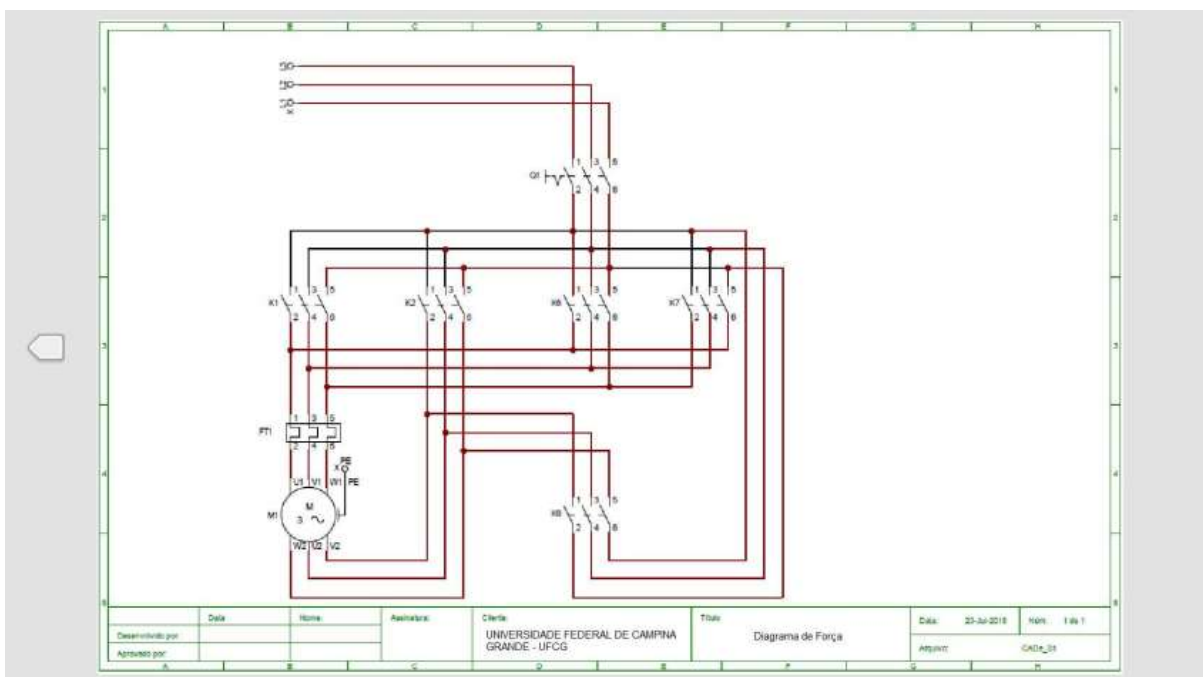
Figura 32 – Jogo indicando “Resposta incorreta”



Fonte: Ferramenta didática baseada em multimídia interativa para identificar e analisar defeitos em quadros de comandos industriais (2018).

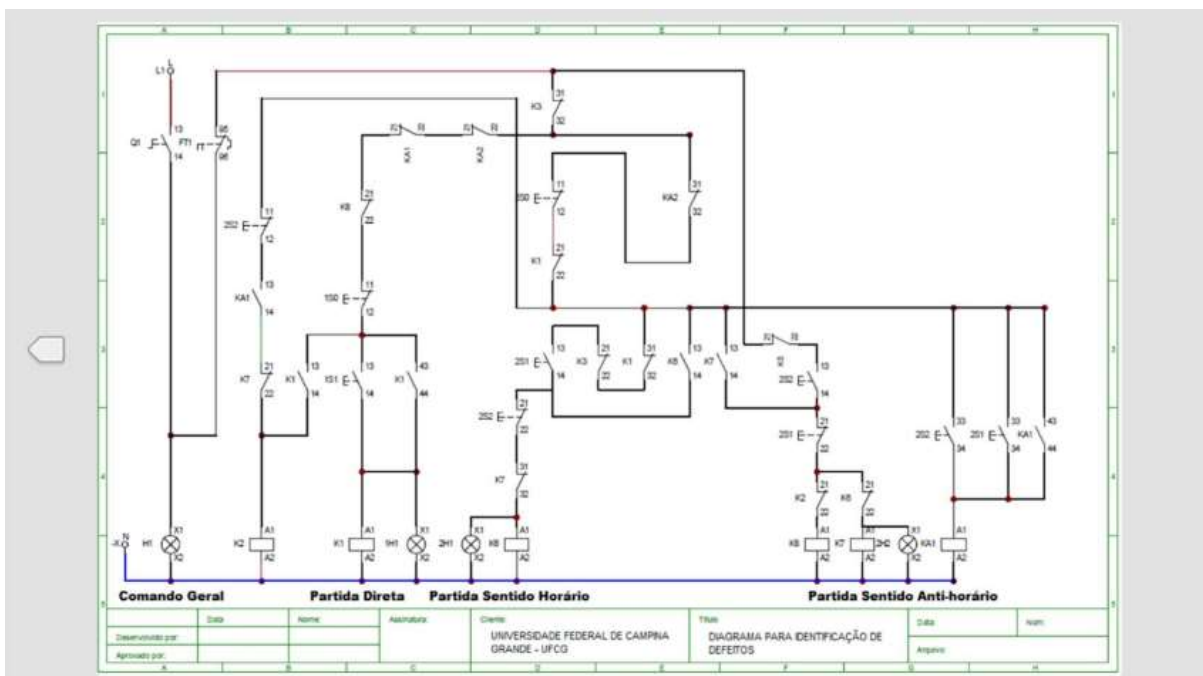
A autora usou como base o simulador da WEG mencionado anteriormente, construiu parte dele, partida direta, partida sentido horário e partida sentido anti-horário, no *software Construct 2*. Os diagramas adaptados, utilizados neste jogo, podem ser observados na Figura 33 e Figura 34.

Figura 33 – Diagrama de força do ambiente virtual



Fonte: Ferramenta didática baseada em multimídia interativa para identificar e analisar defeitos em quadros de comandos industriais (2018).

Figura 34 – Diagrama de comandos elétricos do ambiente virtual



Fonte: Ferramenta didática baseada em multimídia interativa para identificar e analisar defeitos em quadros de comandos industriais (2018).

É importante ressaltar que, o jogo em questão não foi projetado para indicar os erros do jogador, o que pode prejudicar o aprendizado.

2.3.3.1 Defeitos aplicáveis

Inicialmente, foram aplicados 15 defeitos no jogo, porém, a autora notou que o programa completo exigia alto processamento para rodar, impedindo que usuários com computadores menos potentes fossem capazes de jogar. Com isso, os defeitos foram reduzidos para apenas 5, com possibilidade de expansão.

Não foram encontrados o diagrama com os defeitos do jogo, e nem a lista dos defeitos utilizados neste simulador, durante a pesquisa.

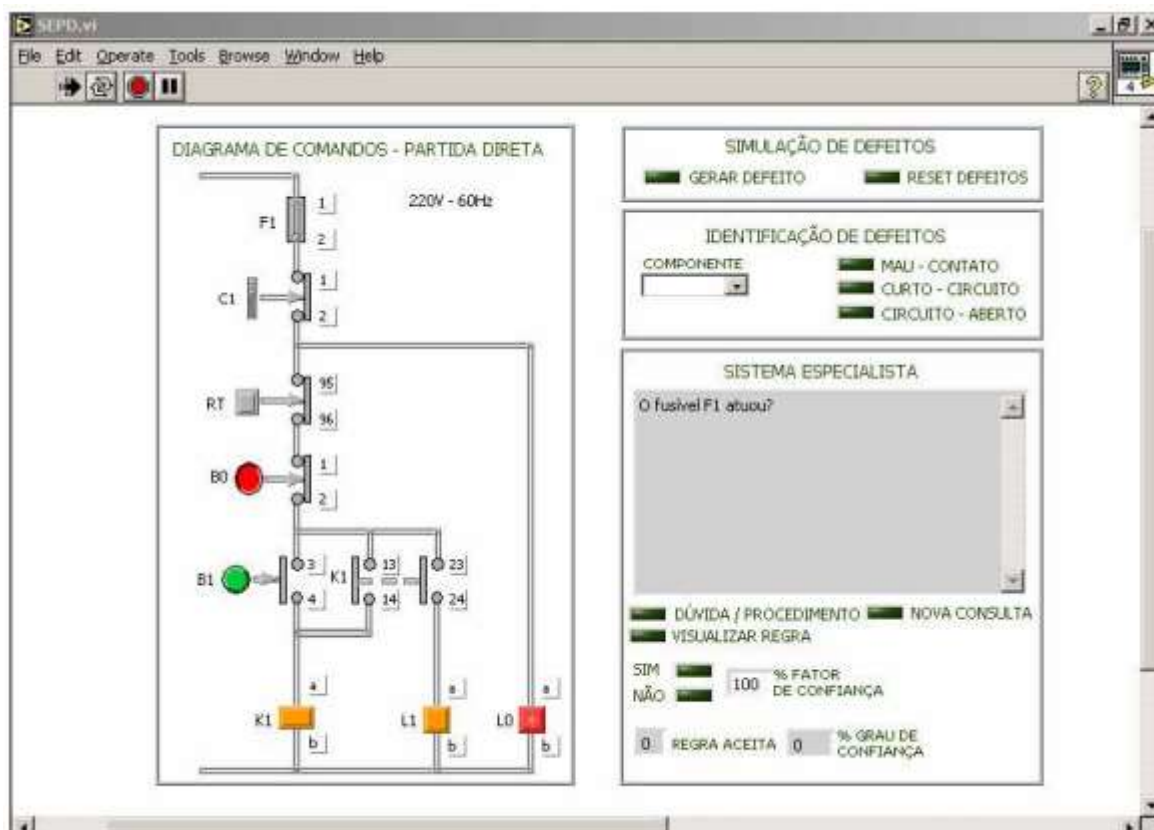
2.3.4 Sistema especialista para detecção de falhas em comandos elétricos (SEPD)

Em julho de 2005, objetivando a obtenção do título de mestre na Universidade Federal do Rio Grande do Norte, o Dr. Valci Ferreira Victor produziu uma dissertação, que “consiste na criação de um sistema especialista que utiliza regras de produção para detecção de falhas nos circuitos de comandos de um sistema de acionamento e comandos de motores elétricos conhecido como partida direta” (Victor, 2005, p. xiii).

Este trabalho fundamenta-se no princípio da inteligência artificial (IA), para detecção de falhas em comandos elétricos de forma precisa.

Esta ferramenta foi implementada no ambiente virtual LabVIEW, em linguagem G, sendo desenvolvida apenas para o sistema de partida direta de motores elétricos, contando com defeitos ocasionados por mau contato, curto-circuito e circuito aberto. A interface frontal do painel de controle está representada na Figura 35, enquanto na Figura 36 tem-se a interface de parametrização do simulador.

Figura 35 – Painel frontal do SEPD



Fonte: Sistema especialista para detecção de falhas em comandos elétricos (2005).

Figura 36 – Parametrização do SEPD

PARAMETRIZAÇÃO DO SEPD

0,10 0,10 0,10 0,10 0,10 0,10 0,10 0,10 0,10 0,10 VPDC

20 Nº DE ESTADOS

50 % MÍNIMO P. ACEITAR A REGRA 3 Nº DE CARGAS

MPMD

0,02	0,49	0,49
0,02	0,49	0,49
0,02	0,49	0,49
0,02	0,49	0,49
0,02	0,49	0,49
0,02	0,49	0,49
0,02	0,49	0,49
0,02	0,49	0,49
0,02	0,49	0,49
0,02	0,49	0,49

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 VMDC

ARQUIVO REGRAS
E:\SEPD\Regras_SEPD.txt

ARQUIVO SINTOMAS
E:\SEPD\Sintomas_SEPD.txt

ARQUIVO VISUALIZAR REGRAS
E:\SEPD\Visualizar Regras_SEPD.txt

VECTOR PROBABILIDADE DE DEFEITO EM COMPONENTES
MATRIZ PROBABILIDADE DE MODOS DE DEFEITOS

Fonte: Sistema especialista para detecção de falhas em comandos elétricos (2005).

2.3.4.1 Defeitos aplicáveis

Neste projeto, o autor não especificou quantos defeitos são possíveis de serem simulados, informando apenas os tipos de falhas que o sistema contém, conforme pode ser observado na Figura 37.

Figura 37 – Tipos de falhas no sistema

Tipo de Falha	Modo de Defeito no Componente
Total	Circuito – aberto no contato da Chave C1 (1-2)
Parcial	Circuito – aberto no contato K1 (23-24)
Catastrófica	Curto – circuito na bobina do contator K1 (a-b)
Paramétrica	Curto – circuito no contato do relé RT (95-96)
Dependente	Circuito – aberto no fusível de F1 (1-2)
Independente	Curto – circuito na lâmpada L1 (a-b)
Repentina	Circuito – aberto no fusível de F1 (1-2)
Gradual	Circuito – aberto no fusível de F1 (1-2)
Permanente	Ruptura da bobina do contator K1 (a-b)
Temporária	Mau contato no Botão B1 (3-4)
Intermitente	Mau – contato no Fusível F1 (1-2)
Operacional	Operação incorreta do Botão B0 (1-2)

Fonte: Sistema especialista para detecção de falhas em comandos elétricos (2005).

2.4.1 Análise dos simuladores encontrados

O simulador da WEG é o simulador com mais defeitos dentre os encontrados, porém são faltas simples, sendo aplicadas apenas com chaves através de curto-circuito e circuito aberto. Um diferencial é o seu manual, que ampara os estudantes e auxilia o professor.

O simulador do Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium de Araçatuba, se faz interessante por ser simples e direto, o que o torna prático. O circuito utilizado é básico, partida direta com reversão, assim como os seus defeitos, que funcionam como os do simulador da WEG.

Já o simulador da Universidade Federal de Campina Grande, se destaca por ser virtual. Porém os defeitos trabalhados são pouquíssimos, o jogo não indica o erro do jogador e não existe, ao menos não foi encontrado, um material para auxiliar no uso do mesmo, ou seja, o estudante fica desamparado.

O simulador da Universidade Federal do Rio Grande do Norte possui um sistema sofisticado de geração e detecção de defeitos, no qual, faz uso de inteligência artificial em seu funcionamento, tornando-se uma ferramenta poderosa e de grande potencial para aprimoramento e expansão.

3 METODOLOGIA

Este trabalho identifica-se como pesquisa aplicada, com o objetivo de proporcionar à(s) universidade(s) uma ferramenta que agregue na aprendizagem de seu(s) estudante(s), e que, ao mesmo tempo, seja viável a obtenção. Portanto, foi necessário reunir os estudos realizados dos simuladores existentes, para afunilar os tipos de defeitos que poderiam ser simulados e identificar as deficiências do mercado, observando também a praticidade do equipamento.

3.1 Escolha do circuito base

A escolha do circuito em que seriam realizadas as simulações, se deu levando em conta a quantidade de defeitos que seriam propostos, bem como o custo e complexidade de montagem do painel.

Seria interessante que o circuito base fosse comum e simples, para não dificultar a compreensão dos alunos, pois o foco do simulador não é estudar o diagrama, e sim aprender a encontrar defeitos nos mesmos.

Analisando os circuitos de acionamento de motor existentes, decidiu-se pelo de partida direta com reversão, pois nesse circuito o aluno aplicará seus conhecimentos de intertravamento e conexão de reversão do sentido de rotação do rotor. Além disso, o circuito é pequeno, o que diminui o custo, e de fácil compreensão.

Aconselha-se utilizar um motor de até 3 CV de potência para funcionar junto ao circuito, pois os componentes não foram dimensionados para acionar motores de elevada potência.

3.2 Escolha dos defeitos

Os defeitos foram escolhidos seguindo três parâmetros: complexidade, forma de identificação e tipo de defeito. Foram selecionados os mais comuns, que surgem a partir de curto-circuito e circuito aberto, e alguns mais elaborados, que podem ocorrer devido à queda de tensão e instalação mal executada. Também foi levado em consideração que o defeito deveria ser no nível de dificuldade equivalente ao conhecimento dos estudantes, já que este simulador será um complemento dos estudos em sala de aula.

3.3 Forma de aplicação dos defeitos

Buscando propor uma ferramenta que seja diferente das demais encontradas no mercado, além de propor outros tipos de defeitos, também foi acrescentada a aleatoriedade na implementação dos mesmos no circuito. Para trabalhar com a aleatoriedade foi estudada a possibilidade de usar dois diferentes tipos de controladores, o CLP e o arduino, no qual o escolhido foi o arduino devido ao seu custo baixo e simples programação.

A ideia inicial era que o estudante pudesse ter acesso ao interior do painel, para realizar os testes necessários e detectar os defeitos, tornando a experiência o mais próximo possível do que seria encontrado em campo.

No decorrer dos estudos percebeu-se que seria inviável disponibilizar o interior do painel aos estudantes, pois alguns defeitos simulam falhas em componentes, e para que isso fosse possível, sem que fosse necessário danificar o componente de forma real, o estudante teria de realizar testes em bornes que representam os componentes, ao invés de realizar testes diretamente nos mesmos.

3.4 Forma de construção do simulador

Buscando aproximar o estudante da realidade, o simulador foi construído em um quadro de comandos elétricos, onde os bornes, dispositivo de uso do aluno para analisar os defeitos, foram instalados na porta do quadro, sendo o circuito base plotado na mesma para melhor compreensão.

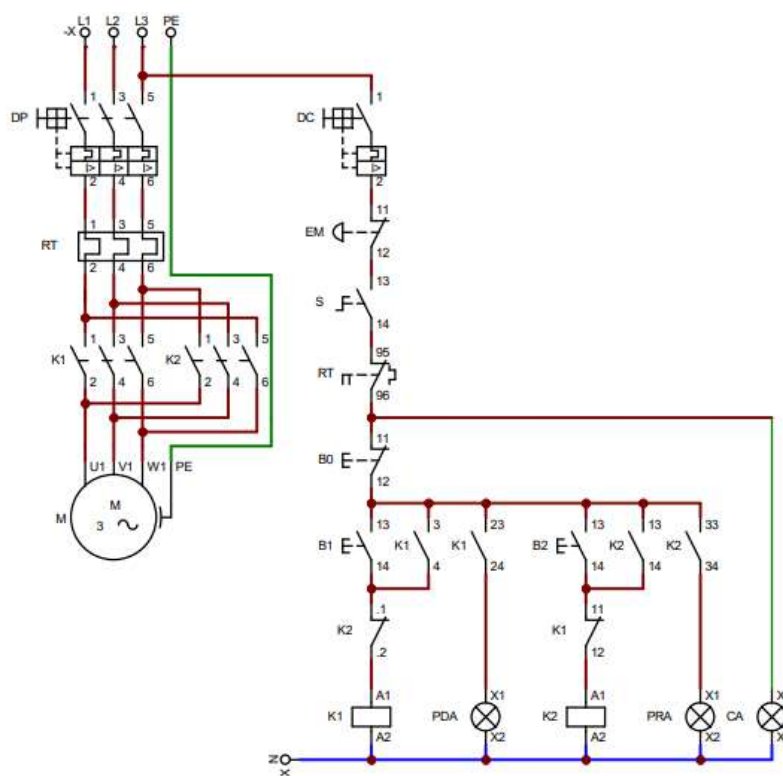
4 DESENVOLVIMENTO

4.1 Circuito base

Foi escolhido o circuito de partida direta e partida direta com reversão para o simulador, pois se trata de um circuito básico que ao mesmo tempo é comumente encontrado na planta industrial, então será melhor compreendido pelos estudantes, o que é de suma importância, visto que deverão entender o funcionamento do circuito para investigar os defeitos que surgirem no mesmo.

A Figura 38 mostra o diagrama do circuito escolhido.

Figura 38 – Diagrama do circuito base



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

4.2 Estudo e elaboração do diagrama com defeitos

Para que seja construído um simulador de defeitos é necessário que se tenha domínio do circuito em que os defeitos serão implementados, visto isso, foram realizados estudos do diagrama de partida direta e partida direta com reversão, bem como os possíveis defeitos que podem ocorrer neste tipo de circuito.

4.2.1 Escolha dos defeitos

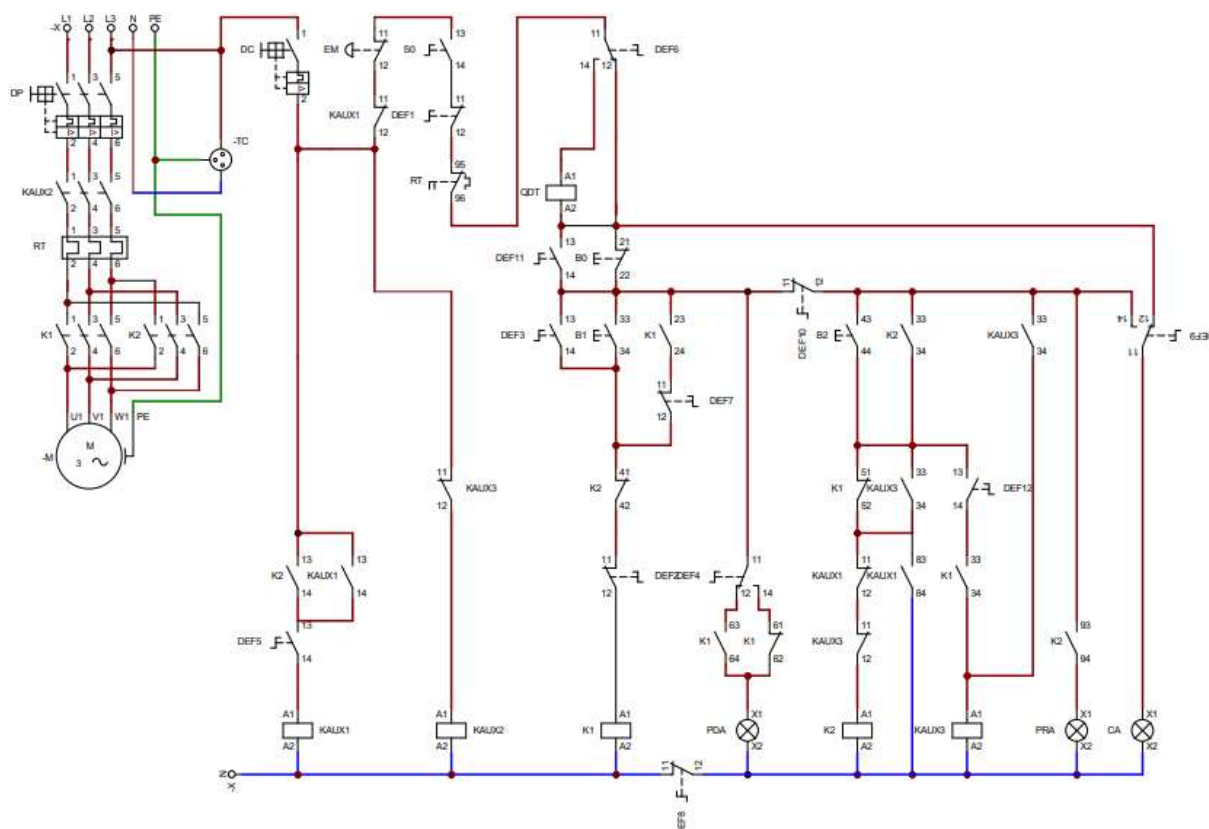
Uma série de estudos foram realizados para que fossem determinados os defeitos, tais como: categoria do defeito; como se daria a sua aplicação; como o defeito seria disponibilizado para o usuário; e a forma do estudante identificar o defeito.

4.2.2 Diagrama com os defeitos

Por fim foram selecionados 12 defeitos, dentre eles simulação de curto-circuito de bobina de contator, instalação mal executada, queda de tensão, curto-circuito de trecho e trecho aberto, esses dois últimos foram os tipos presentes nos simuladores utilizados como base para este trabalho.

A Figura 39 traz o diagrama com todos os defeitos inseridos e o Quadro 2 um resumo das características de todos os defeitos.

Figura 39 – Diagrama do simulador



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Legenda:

L1 - Fase A.

L2 - Fase B.

L3 - Fase C.

PE – Terra.

N – Neutro.

DP - Disjuntor de Potência.

KAUX2 (1.3.5 e 2.4.6) – Contatos de potência do contator auxiliar KAUX2, auxilia no defeito 12.

RT (L1.L2.L3) - Relé Térmico.

K1 (L1.L2.L3) - Contatos de potência do contator K1.

K2 (L1.L2.L3) - Contatos de potência do contator K2.

M - Motor trifásico.

TC – Tomada que alimenta o arduino.

DC - Disjuntor do Comando.

K2 (13.14) – Contato NA de K2, auxilia no defeito 5.

KAUX1 (13.14) – Contato de selo do contator auxiliar KAUX1, auxilia no defeito 5.

DEF5 (13.14) – Contatos NA do relé do defeito 5.

KAUX1 (A1.A2) – Bobina do contator auxiliar KAUX1, auxilia no defeito 5.

KAUX3 (11.12) – Contato NF de KAUX3, auxilia no defeito 12.

KAUX2 (A1.A2) – Bobina do contator auxiliar KAUX2, auxilia no defeito 12.

KAUX1 (11.12) – Contato NF de KAUX1, auxilia no defeito 5.

EM - Botoeira de Emergência.

S0 - Chave geral.

DEF1 (11.12) - Contatos NF do relé do defeito 1.

RT (95.96) - Contato do Relé Térmico.

DEF6 (11.12.14) - Contatos comutadores do relé do defeito 6.

QDT (A1.A2) – Bobina do contator utilizado para simular queda de tensão.

DEF11 (13.14) - Contatos NA do relé do defeito 11.

B0 (21.22) - Botoeira 0 NF, desliga as partidas.

DEF3 (13.14) - Contatos NA do relé do defeito 3.

B1 (33.34) - Botoeira 1 NA, aciona a partida direta.

K1 (23.24) - Contato de selo de K1.

DEF7 (11.12) - Contatos NF do relé do defeito 7.

K2 (41.42) - Contato de intertravamento de K2.

DEF2 (11.12) - Contatos NF do relé do defeito 2.

K1 (A1.A2) - Bobina do contator K1, responsável pela partida direta.

DEF4 (11.12.14) - Contatos comutadores do relé do defeito 4.

K1 (63.64) - Contato NA de K1, aciona a sinalização da partida direta.

K1 (61.62) – Contato NF de K1, auxilia no defeito 4.

PDA - LED que indica a Partida Direta Acionada.

DEF8 (11.12) - Contatos NF do relé do defeito 8.

DEF10 (11.12) – Contatos NF do relé do defeito 10.

B2 (43.44) - Botoeira 2 NA, aciona a partida reversora.

K2 (33.34) - Contato de selo de K2.

K1 (51.52) - Contato de intertravamento de K1.

KAUX1 (11.12) – Contato NF de KAUX1, auxilia no defeito 5.

KAUX3 (11.12) – Contato NF de KAUX3, auxilia no defeito 12.

K2 (A1.A2) - Bobina do contator K2, responsável pela partida reversora.

KAUX3 (33.34) – Contato NA de KAUX3, auxilia no defeito 12.

KAUX1 (83.84) – Contato NA de KAUX1, auxilia no defeito 5.

DEF12 (13.14) - Contatos NA do relé do defeito 12.

K1 (33.34) – Contato NA de K1, auxilia no defeito 12.

KAUX3 (A1.A2) – Bobina do contator auxiliar KAUX3, auxilia no defeito 12.

KAUX3 (33.34) – Contato de selo de KAUX3, auxilia no defeito 12.

K2 (93.94) - Contato NA de K2, aciona a sinalização da partida reversora.

PRA - LED que indica a Partida Reversora Acionada.

DEF9 (11.12.14) - Contatos comutadores do relé do defeito 9.

CA - LED que indica o Comando Alimentado.

Quadro 2 – Resumo dos defeitos (continua)

Nº	Sintoma	Defeito	Categoria	Aplicação	Investigação
1	Comando geral não liga.	Cabo rompido antes do contato do relé térmico	Circuito aberto	Módulo relé	Teste de continuidade entre o contato 14 da chave geral e o 95 do relé térmico.
2	Partida direta não liga.	Bobina de K1 aberta.	Circuito aberto	Módulo relé	Teste de continuidade entre o A1 e o A2 da bobina do contator K1.
3	Partida direta liga assim que o circuito de comandos é alimentado.	Contato da botoeira B1, ou contato de selo de K1, fundido.	Curto-circuito	Módulo relé	Teste de continuidade em B1 e selo de K1, pois estão em paralelo.
4	Sinalização da partida direta liga quando a mesma está desligada, e desliga quando a mesma está ligada.	Instalação do contato auxiliar invertida.	Instalação mal executada	Módulo relé	Visual.

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Quadro 3 – Resumo dos defeitos (continuação)

Nº	Sintoma	Defeito	Categoria	Aplicação	Investigação
5	Disjuntor monofásico desarmando na partida reversora.	Bobina do contator K2 em curto-circuito.	Curto-circuito	Módulo relé e Kaux	Teste de tensão entre os bornes do disjuntor de comandos e resistência na bobina de K2.
6	Contatores não acionam.	Tensão insuficiente para acionar os contatores.	Queda de tensão	Módulo relé e Indutância	Teste de tensão entre o A1 e o A2, dos contatores K1 e K2.
7	Partida direta não segura.	Contato de selo K1 não funciona.	Circuito aberto	Módulo relé	Teste manual, quando B1 for pressionada a bobina de K1 será acionada, quando B1 for desacionada a bobina de K1 desaciona.
8	Partida reversora e LEDs de sinalização não ligam.	Cabo de neutro rompido no meio do circuito.	Circuito aberto	Módulo relé	Teste de continuidade entre o A2 de K1 e o X2 do LED da partida direta.
9	LED de sinalização da alimentação do circuito pisca quando B0 é pressionada.	Instalação da alimentação do LED após B0.	Instalação mal executada	Módulo relé	Visual.
10	Partida com reversão não funciona.	Cabo de alimentação desse trecho rompido.	Circuito aberto	Módulo relé	Teste de continuidade entre 33-B1/23-K1 e 43-B2/33-K2.

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Quadro 4 – Resumo dos defeitos (conclusão)

Nº	Sintoma	Defeito	Categoria	Aplicação	Investigação
11	As partidas não desacionam por B0.	Contato de B0 fundido.	Curto-circuito	Módulo relé	Teste de continuidade nos terminais de B0.
12	Motor para quando B2 é pressionada enquanto a partida direta está acionada.	Contato K1 de intertravamento fundido.	Curto-circuito	Módulo relé e Kaux	Teste de tensão entre os bornes do disjuntor de potência.

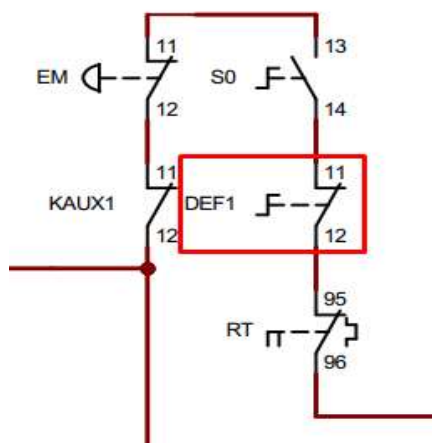
Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

É importante dizer que quando os estudantes forem investigar os defeitos, será por meio de testes de continuidade de tensão, então será necessário utilizar um multímetro. Porém, os testes de continuidade exigem uma atenção maior, pois devem ser realizados somente no circuito desenergizado, então o botão de emergência deve ser pressionado antes, e não devem ser realizados nos disjuntores e no botão de emergência, pois continuarão alimentados.

4.2.2.1 Defeito 01

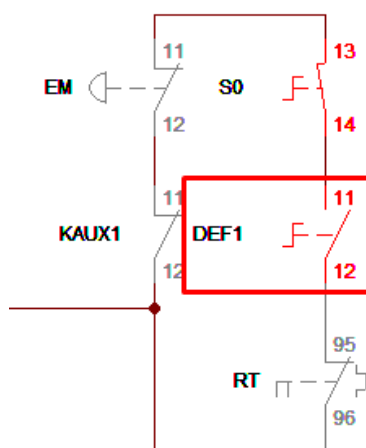
Defeito do tipo circuito aberto, implementado por meio de relé. Ao acionar o defeito, o relé que fica entre o trecho que liga o contato NF do relé térmico ao contato 13 da chave geral S0 será aberto, simulando que o cabo está rompido naquele trecho, como pode ser observado na Figura 40 e na Figura 41.

Figura 40 – Defeito 01



Fonte: Criado pelos autores (2022).

Figura 41 – Defeito 01 implementado



Fonte: Criado pelos autores (2022).

O estudante conseguirá identificar o defeito fazendo teste de continuidade e/ou teste de tensão. No teste de continuidade, ele testará entre o contato 96 do relé térmico e o contato 13 da chave S0. Já no de tensão, realizando o teste entre o neutro e o contato 14 de S0 encontrará tensão, mas não encontrará entre o neutro e o contato 95 do RT.

4.2.2.2 Defeito 02

Defeito do tipo circuito aberto, implementado por meio de relé. Simula bobina do contator K1 aberta, o que impede a mesma de fechar quando é energizada.

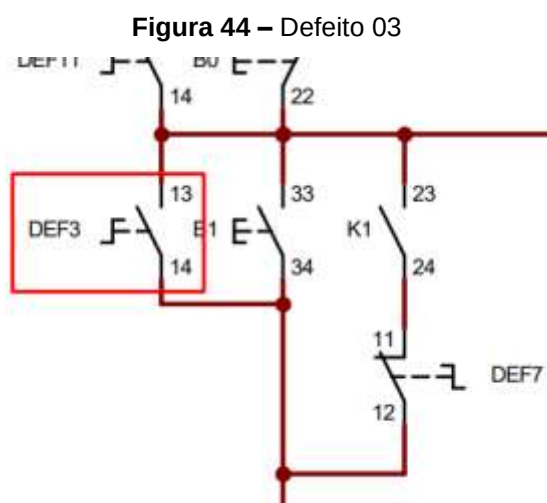
não há problema no circuito, o estudante deverá realizar o teste de continuidade entre os contatos A1 e A2 do contator, chegando assim à conclusão de que a bobina está aberta.

4.2.2.3 Defeito 03

Defeito do tipo curto-circuito, implementado por meio de módulo relé. Este defeito simula que o contato de selo do contator K1 (23-24) ou B1 (33-34) estão fundidos.

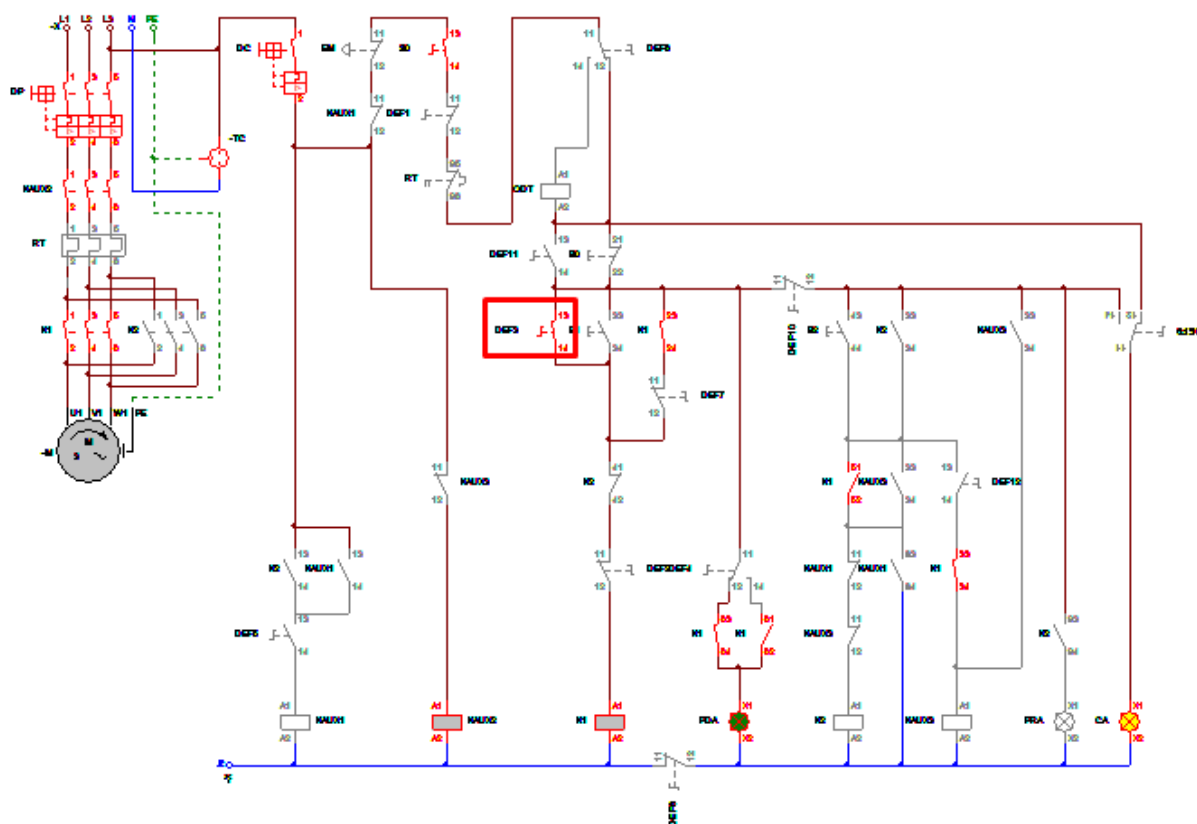
O estudante poderá identificar o defeito quando, ao energizar o circuito de comandos, perceber que a partida direta inicia, sem que a botoeira seja pressionada. Realizando o teste de continuidade em B1 (33-34) ou K1 (23-24), ele irá identificar o defeito.

Nesta análise o estudante poderá responder que B1 (33-34) ou K1 (23-24) está fundido, ou que os dois podem estar, já que os contatos estão em paralelo (Figura 44), então a leitura do multímetro não mostrará a situação dos contatos individualmente, e o estudante não terá acesso ao interior do quadro, para que fosse possível desconectar um dos contatos e realizar o teste de forma individual, como seria feito em uma situação real.



Fonte: Criado pelos autores (2022).

Figura 45 – Defeito 03 implementado



Fonte: Criado pelos autores (2022).

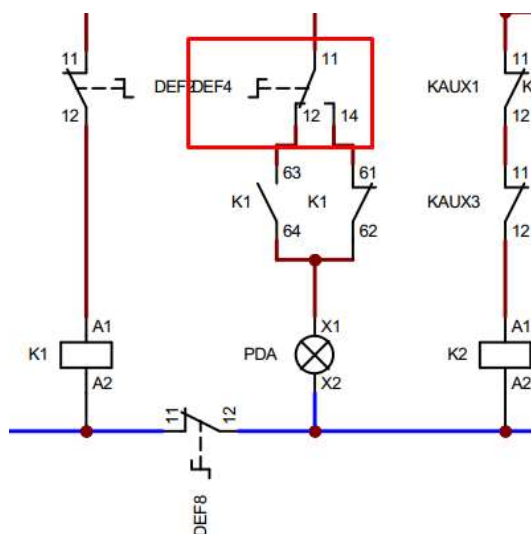
4.2.2.4 Defeito 04

Defeito do tipo instalação mal executada, defeito não encontrado em nenhum outro simulador. Implementado por meio de relé, o defeito simula a instalação invertida do contato auxiliar de K1 para sinalização, ocasionando na operação de forma inversa.

Ao acionar o defeito, o relé comuta seus contatos, fazendo com que a alimentação da sinalização seja feita por meio de um contato normalmente fechado de K1, como pode ser visto na Figura 46, sendo que a mesma deveria ser feita por meio de um contato normalmente aberto de K1.

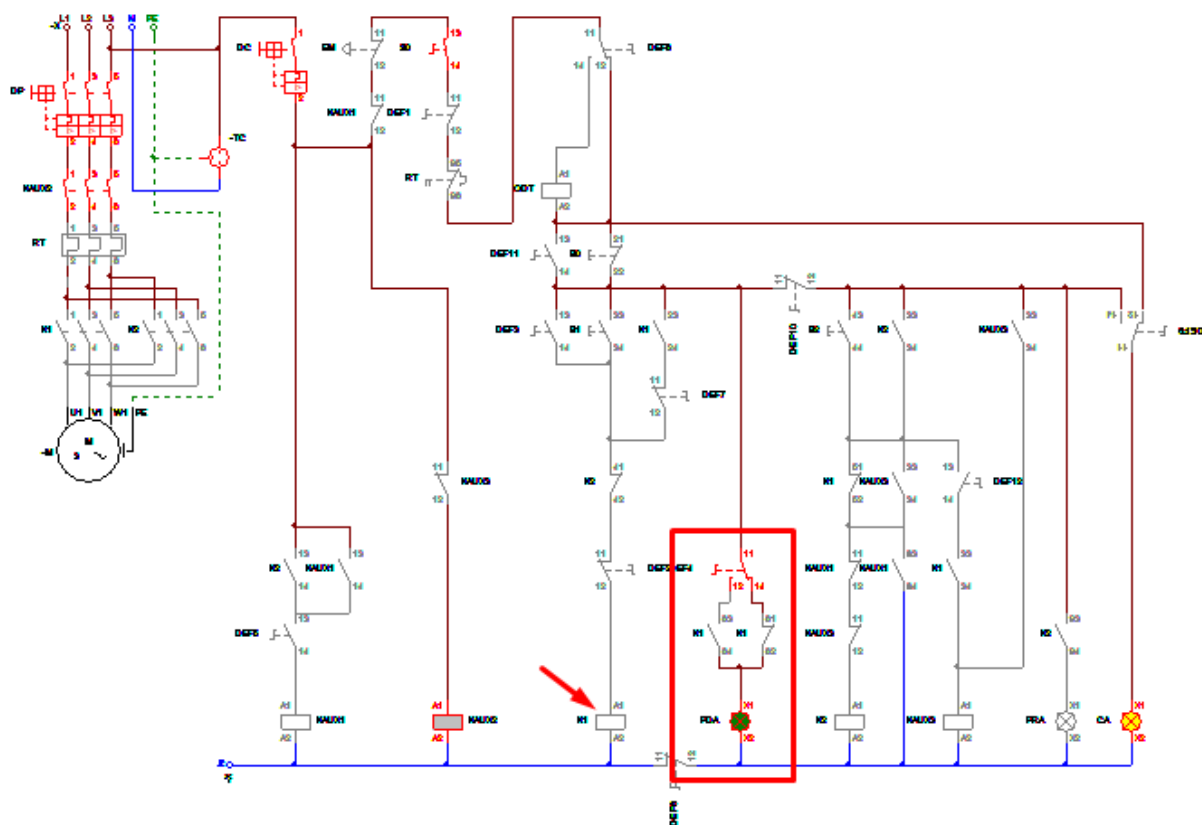
Para identificar esse defeito de forma mais rápida, o estudante deverá ter uma noção um pouco mais avançada de comandos elétricos, visto que o mesmo pode ser identificado de forma visual, observando o funcionamento do LED contrário ao acionamento do contator.

Figura 46 – Defeito 04



Fonte: Criado pelos autores (2022).

Figura 47 – Defeito 04 implementado



Fonte: Criado pelos autores (2022).

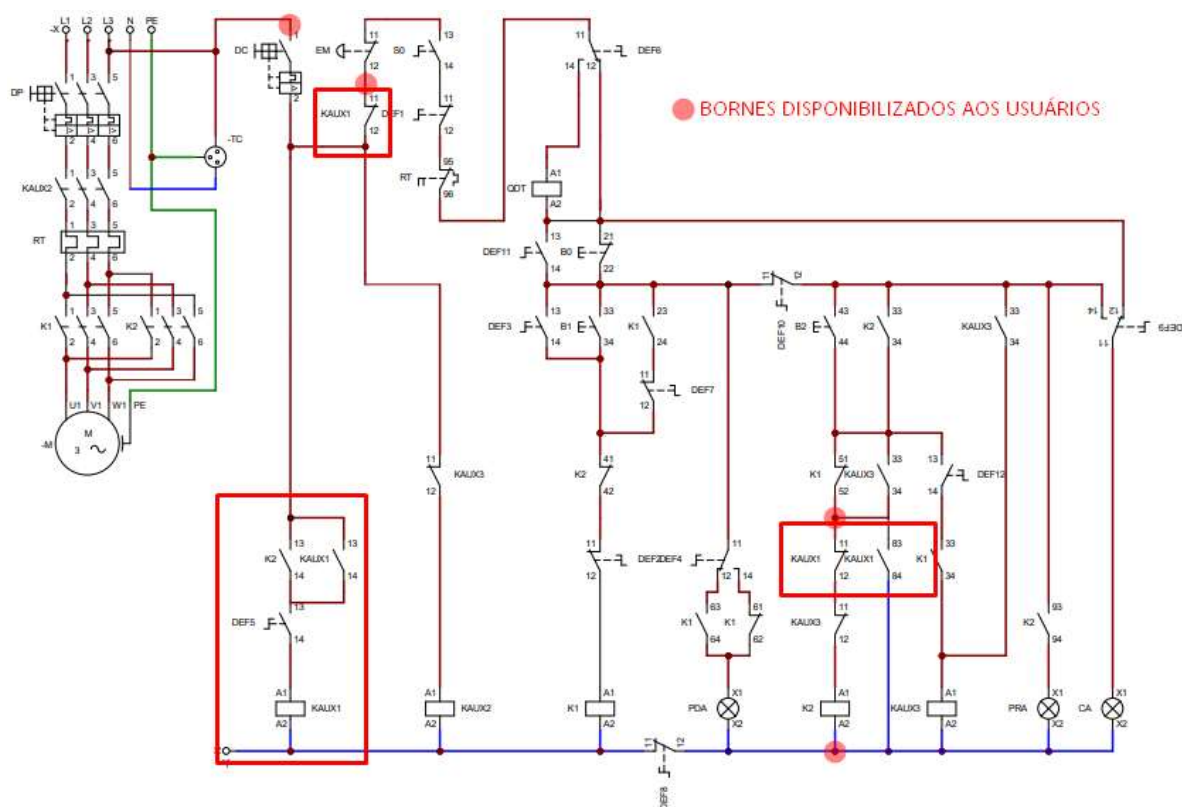
4.2.2.5 Defeito 05

Defeito do tipo curto-circuito, implementado por meio de relé e contator auxiliar. Simula curto-circuito na bobina do contator K2, ocasionando no desarme do disjuntor de comando assim que a partida direta com reversão é acionada.

O contator auxiliar KAUX1 foi utilizado para que fosse possível simular este defeito, sendo responsável pela abertura do ramo que energiza o circuito de comandos, simulando abertura do disjuntor, do ramo que alimenta K2, e fechar o contato que irá bypassar a bobina de K2, como pode ser observado na Figura 48.

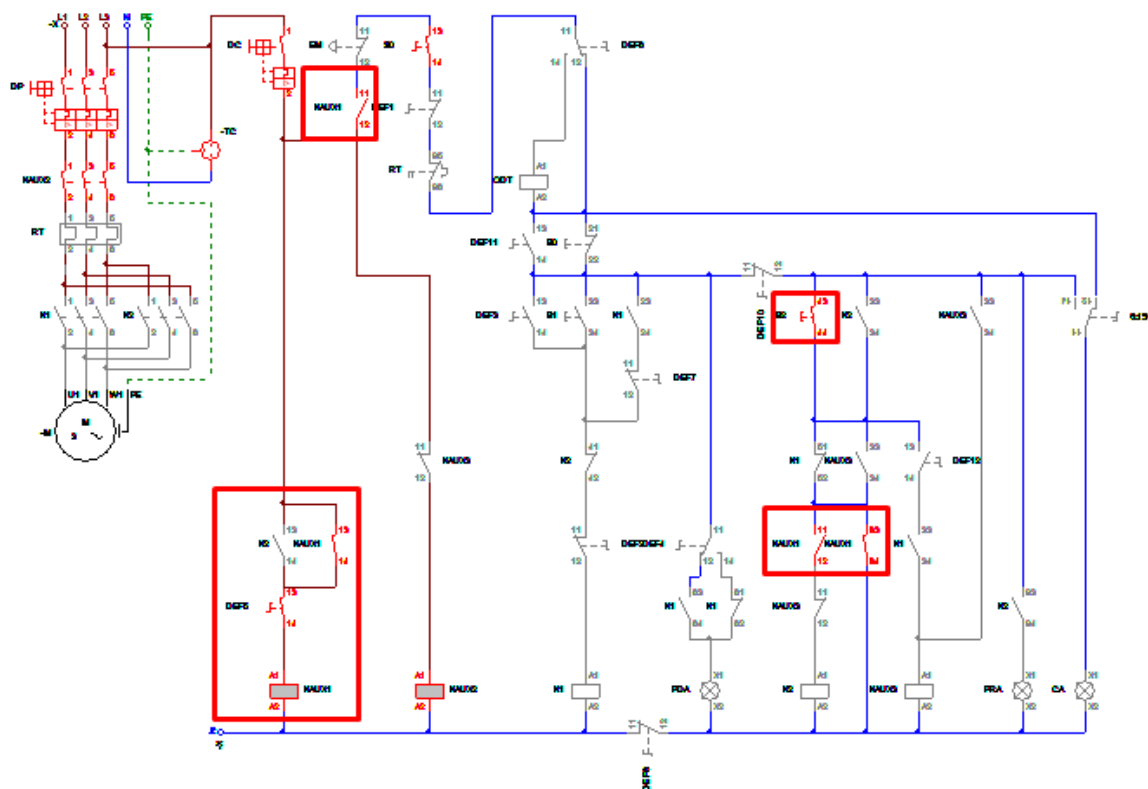
O defeito poderá ser identificado após o usuário perceber que o disjuntor desarma assim que a partida com reversão é acionada. Para identificação do defeito o estudante deverá realizar o teste de tensão entre os terminais do disjuntor e o neutro, assim ele irá identificar que o mesmo está aberto, com isso já pode-se presumir que há curto em alguma parte do circuito. Também deve ser observado que o disjuntor desarma apenas na partida direta com reversão, descartando defeito na partida direta. Colocando as ponteiros do multímetro nos terminais A1 e A2, na escala de resistência, será apresentada uma resistência muito pequena, o que indica que a bobina do contator está em curto.

Figura 48 – Defeito 05



Fonte: Criado pelos autores (2022).

Figura 49 – Defeito 05 implementado



Fonte: Criado pelos autores (2022).

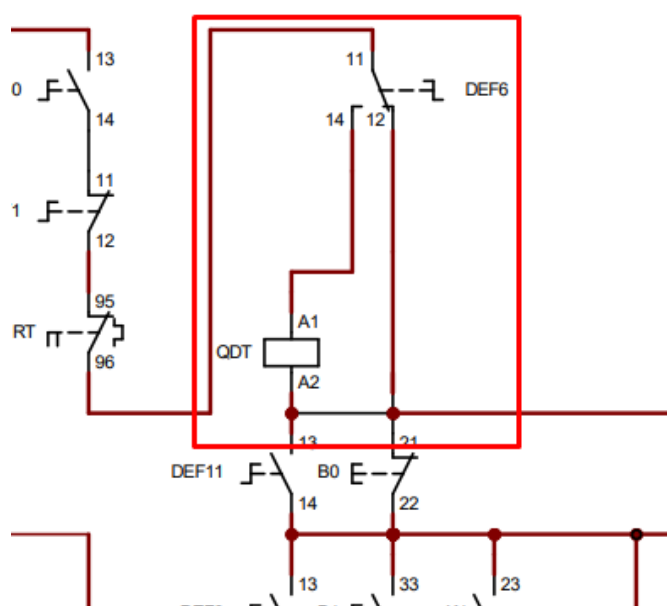
4.2.2.6 Defeito 06

Defeito do tipo queda de tensão, implementado por meio de módulo relé e indutância. Simula tensão insuficiente para acionamento dos contadores, que neste caso seria a tensão da rede da concessionária.

Para provocar a queda de tensão no circuito foi utilizada a bobina de um contator em série com todo o circuito de comandos (Figura 50), utilizada somente com esta finalidade, constituindo um divisor de tensão, então não chegará tensão suficiente para a magnetização da bobina dos contadores principais.

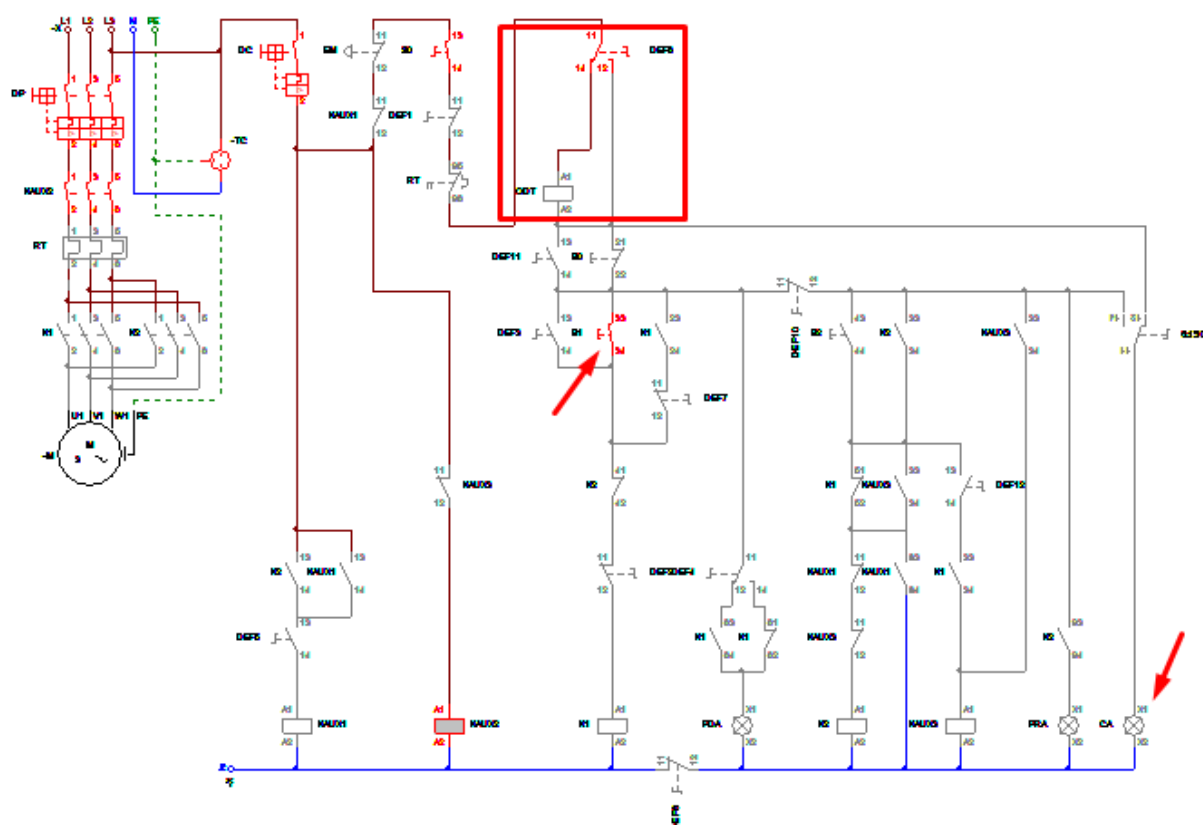
O estudante poderá identificar o defeito colocando as ponteiros do multímetro nos terminais A1 e A2 dos contadores na escala de tensão, onde ele irá observar que a tensão equivale a menos da metade da tensão necessária para acionar o contator.

Figura 50 – Defeito 06



Fonte: Criado pelos autores (2022).

Figura 51 – Defeito 06 implementado



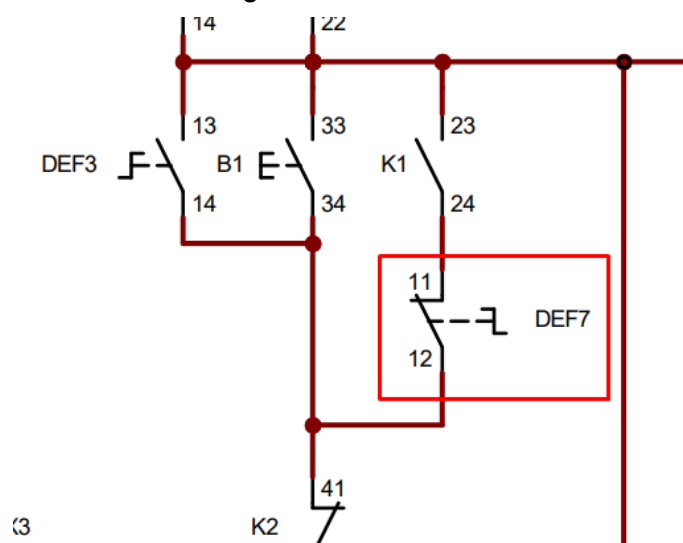
Fonte: Criado pelos autores (2022).

4.2.2.7 Defeito 07

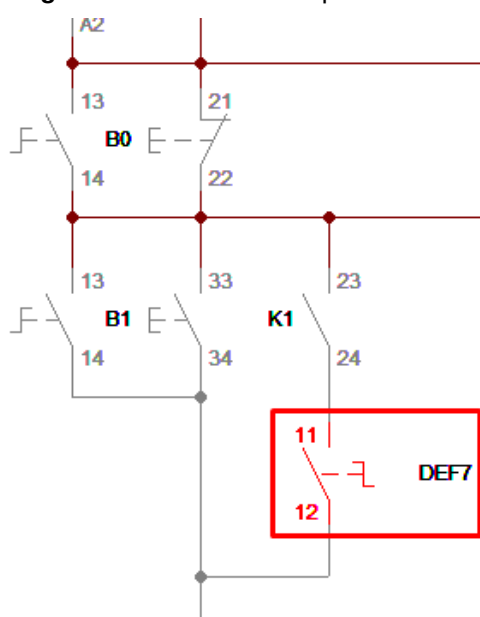
Defeito do tipo circuito aberto, implementado por meio de módulo relé. Simula defeito no contato de selo do contator K1.

O contato NF do módulo relé foi colocado em série com o contato de selo da partida direta K1 (23-24), desta forma, quando o defeito for acionado, o contato DEF7 (11-12) irá abrir, o que não permitirá que a partida se mantenha acionada após a botoeira ser despressionada (Figura 52).

Este defeito será identificado apenas de forma visual, pois o paralelismo entre os contatos não permite que o estudante identifique a origem do defeito por meio de testes de tensão e continuidade, porém, com os conhecimentos adquiridos nas aulas ele será capaz de identificar apenas observando o comportamento do circuito.

Figura 52 – Defeito 07

Fonte: Criado pelos autores (2022).

Figura 53 – Defeito 07 implementado

Fonte: Criado pelos autores (2022).

4.2.2.8 Defeito 08

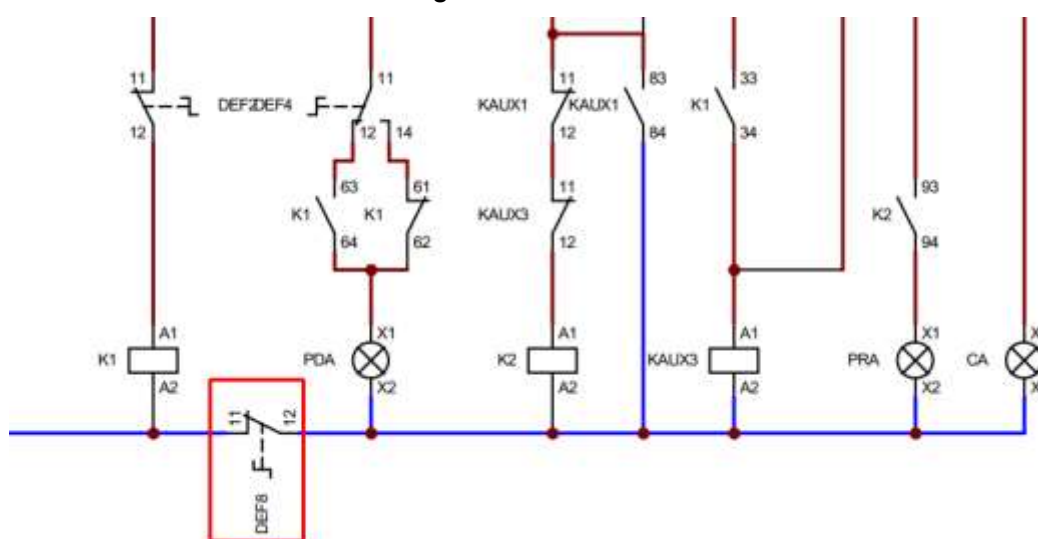
Defeito do tipo circuito aberto, implementado por meio de módulo relé. Simula a falta de neutro no ramo que liga K2 (partida direta com reversão) e sua sinalização, assim como a sinalização do comando energizado.

O contato NF do módulo relé foi inserido em série com o ramo que conecta à A2 do contator K2, X2 do LED de sinalização PRA, X2 do LED de sinalização PDA e

X2 do LED CA (Figura 54), dessa forma, ao implementar o defeito, seu contato abre, simulando rompimento do neutro.

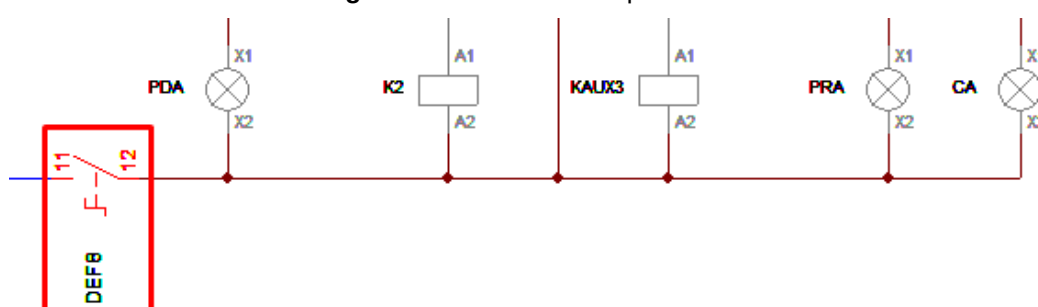
Para a identificação do defeito deve-se fazer teste de continuidade entre os terminais A2 do contator K2 e os demais pontos de neutro do circuito, o mesmo deve ser feito para os LEDs de sinalização. Ao realizar o teste de continuidade, o estudante irá identificar que o cabo de neutro está rompido antes de chegar aos componentes anteriormente citados.

Figura 54 – Defeito 08



Fonte: Criado pelos autores (2022).

Figura 55 – Defeito 08 implementado



Fonte: Criado pelos autores (2022).

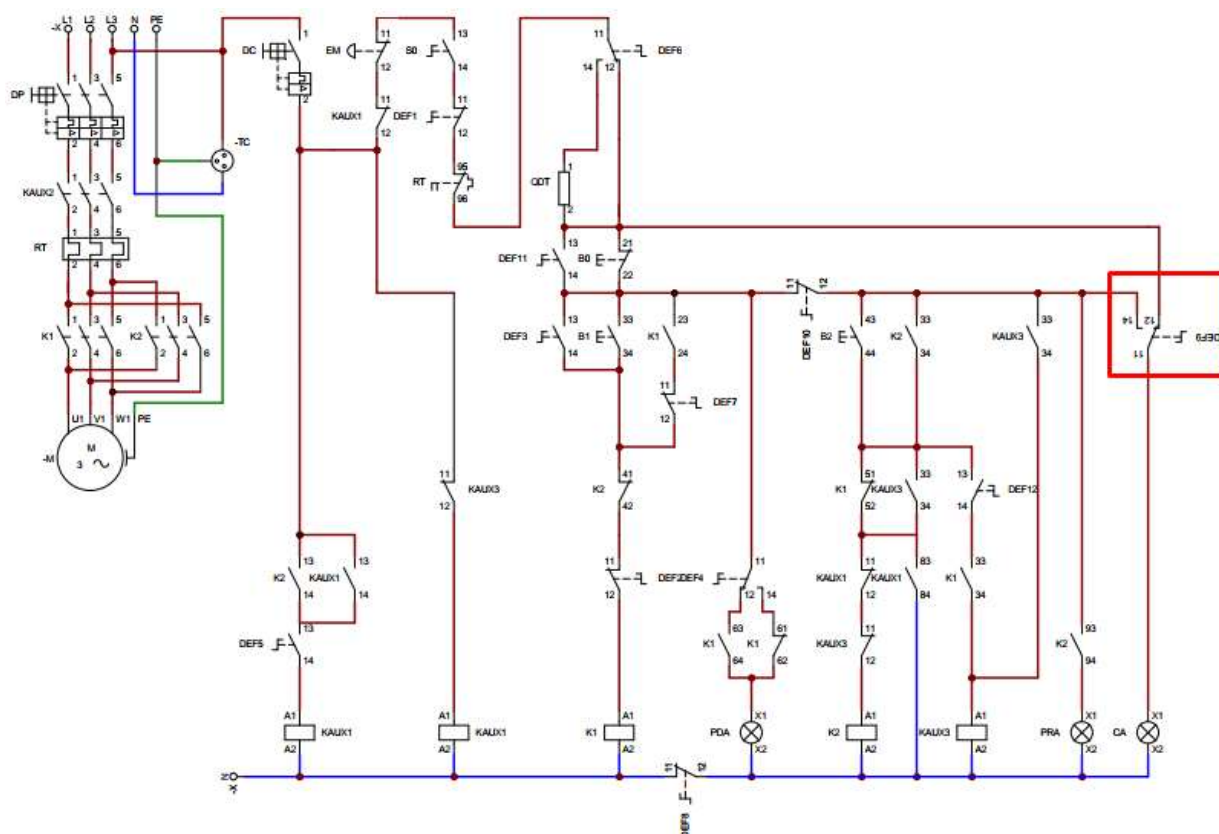
4.2.2.9 Defeito 09

Defeito do tipo instalação mal executada, implementado por meio de módulo relé. Este defeito simula que a lâmpada de sinalização de circuito energizado foi instalada de forma incorreta.

Para implementar este defeito, foi colocado um módulo relé em série com o LED de sinalização de circuito energizado (Figura 56), possibilitando que esse trecho seja alimentado por dois ramos. Quando o defeito está inoperante, o LED é alimentado pela saída do relé térmico, que é a forma correta. Ao implementar o defeito ela passa a ser alimentada pela saída de B0, sendo esta a forma incorreta, pois dessa forma, sempre que a botoeira B0 for pressionada o LED será desligado durante o momento em que a botoeira estiver pressionada.

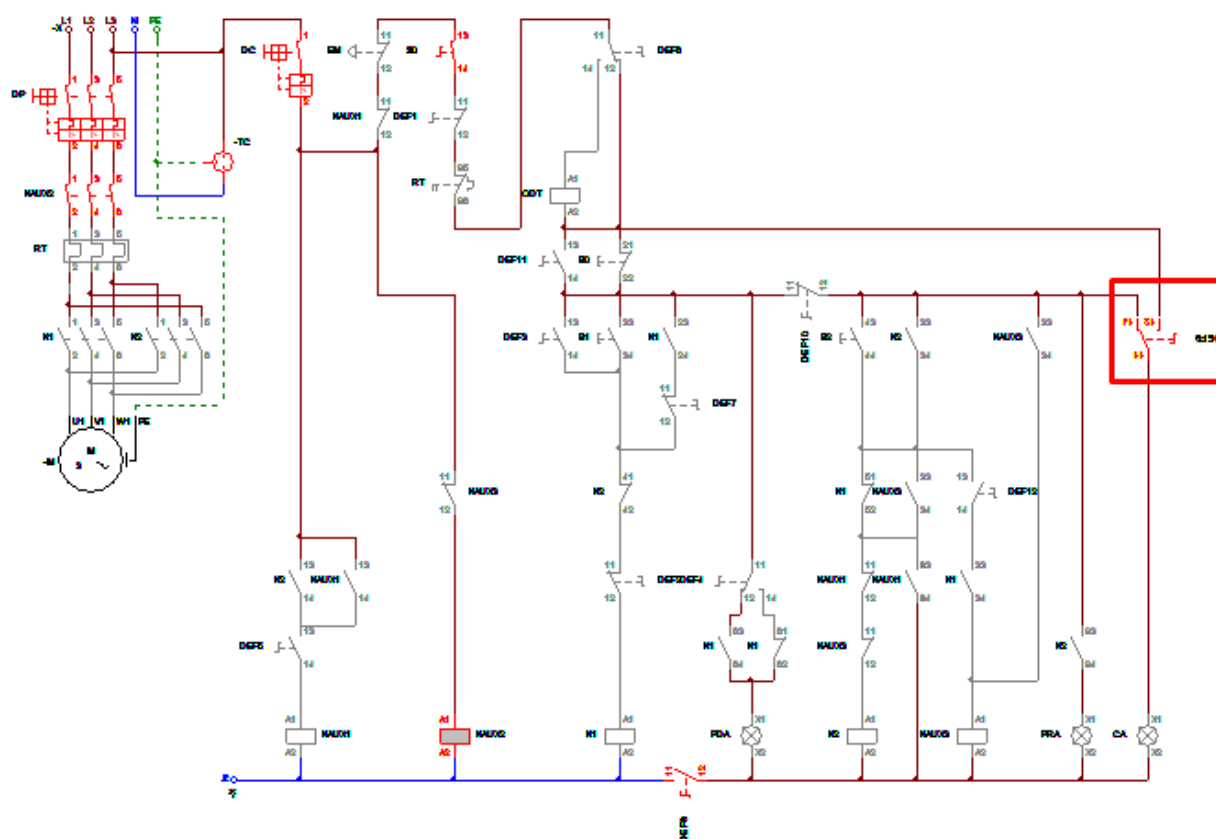
A identificação pode ser feita de forma visual, apenas observando o comportamento do circuito, bem como por meio de teste de continuidade entre X1 do LED e os contatos a montante de B0, em seguida, a jusante de B0, desta forma será identificado que a ligação foi feita de forma incorreta.

Figura 56 – Defeito 09



Fonte: Criado pelos autores (2022).

Figura 57 – Defeito 09 implementado



Fonte: Criado pelos autores (2022).

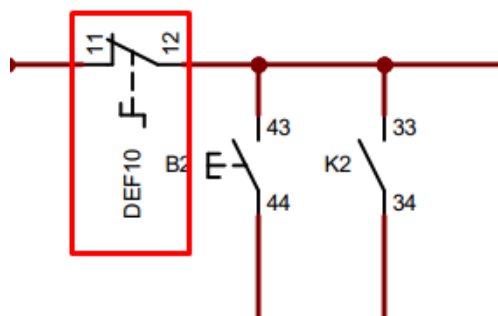
4.2.2.10 Defeito 10

Defeito do tipo circuito aberto, implementado por meio de módulo relé. Simula cabo do trecho de alimentação da partida direta com reversão rompido.

O contato NF do relé foi inserido em série com o trecho que alimenta a botoeira de acionamento da partida direta com reversão e sua sinalização (Figura 58), dessa forma, quando for implementado impedirá que aquele ramo seja alimentado.

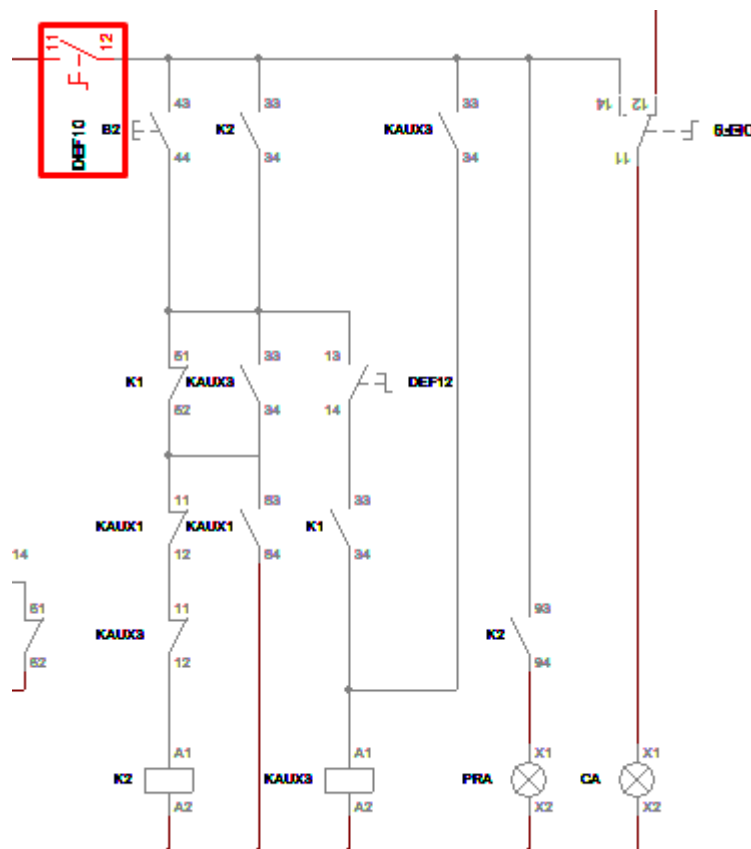
Pode ser identificado fazendo teste de continuidade entre os contatos B1-33/K1-23 e B2-43/K2-33.

Figura 58 – Defeito 10



Fonte: Criado pelos autores (2022).

Figura 59 – Defeito 10 implementado



Fonte: Criado pelos autores (2022).

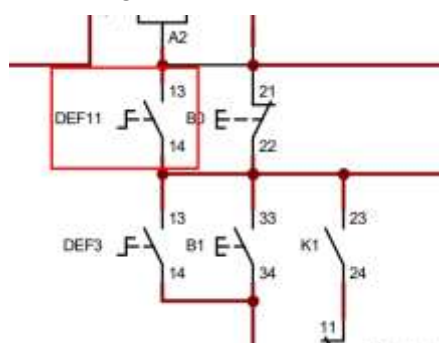
4.2.2.11 Defeito 11

Defeito do tipo curto-circuito, implementado por meio de relé. Simula o contato da botoeira B0 (NF) fundido, dessa forma o mesmo não irá abrir quando pressionado, o que implica no não desacionamento das partidas direta e direta com reversão por meio de B0.

Foi inserido em paralelo com B0 (23-24) um contato NA do módulo relé (Figura 60), que ao ser acionado funcionará como um bypass, impossibilitando que B0 desacione as partidas. O estudante somente conseguiria desacionar ambas as partidas por meio da botoeira de emergência e chave S0.

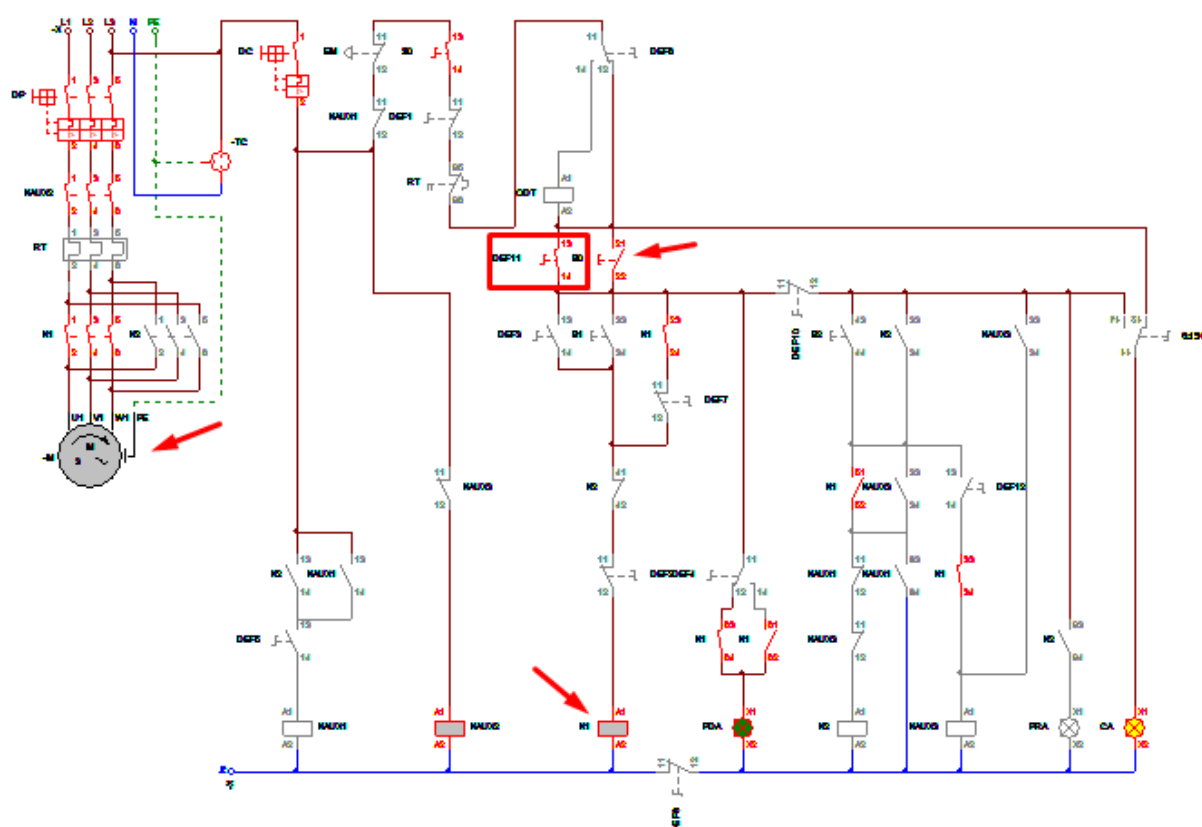
Para identificar o defeito deve-se fazer teste de continuidade entre os contatos 21 e 22 de B0, pressionando o mesmo durante o teste, assim o usuário perceberá que o contato não abre, chegando à conclusão de que o defeito está no componente.

Figura 60 – Defeito 11



Fonte: Criado pelos autores (2022).

Figura 61 – Defeito 11 implementado



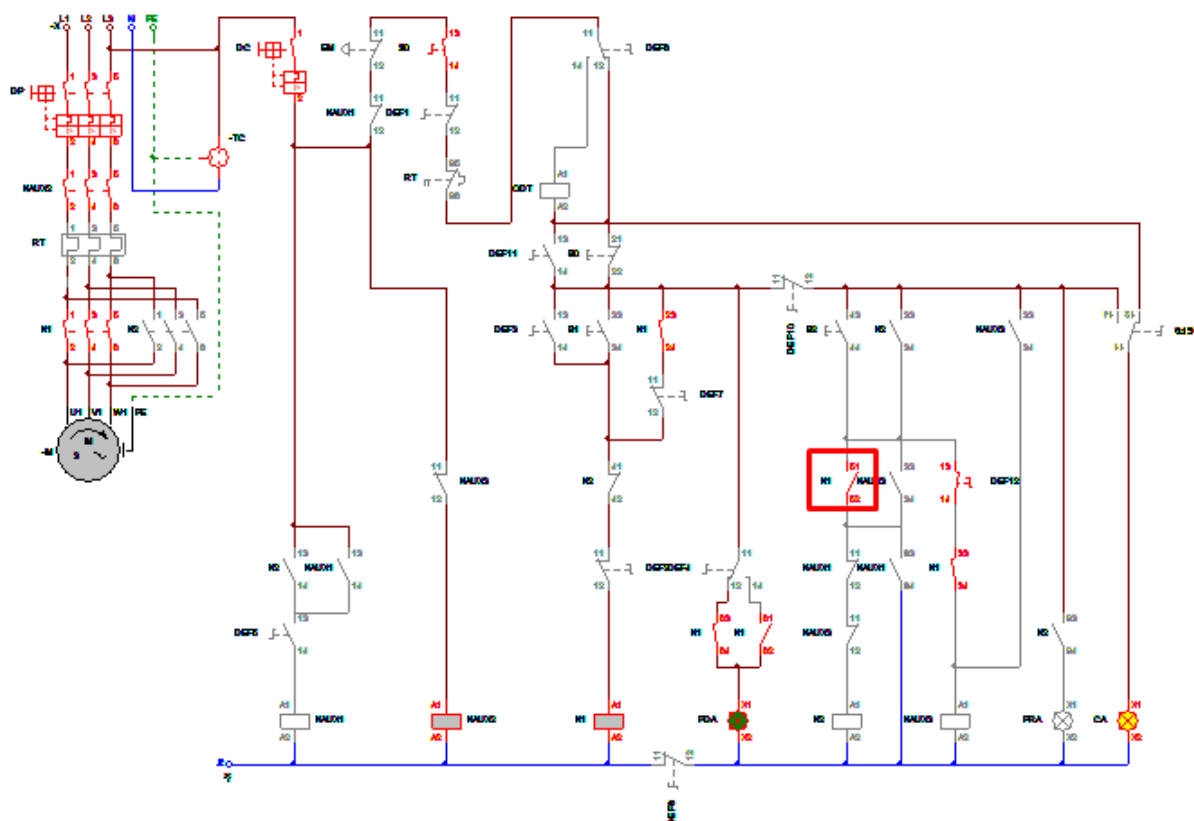
Fonte: Criado pelos autores (2022).

4.2.2.12 Defeito 12

Defeito do tipo curto-circuito, implementado por meio de relé e contatores auxiliares. Simula defeito no intertravamento da partida direta com reversão K1 (51-52), permitindo que ela entre ao mesmo tempo que a partida direta, simulando um curto-circuito bifásico.

Para que o defeito seja simulado, a partida direta precisa estar acionada, com ela acionada o contato NF de K1 de intertravamento estará aberto, impedindo que K2 entre em operação, como pode ser observado na Figura 62.

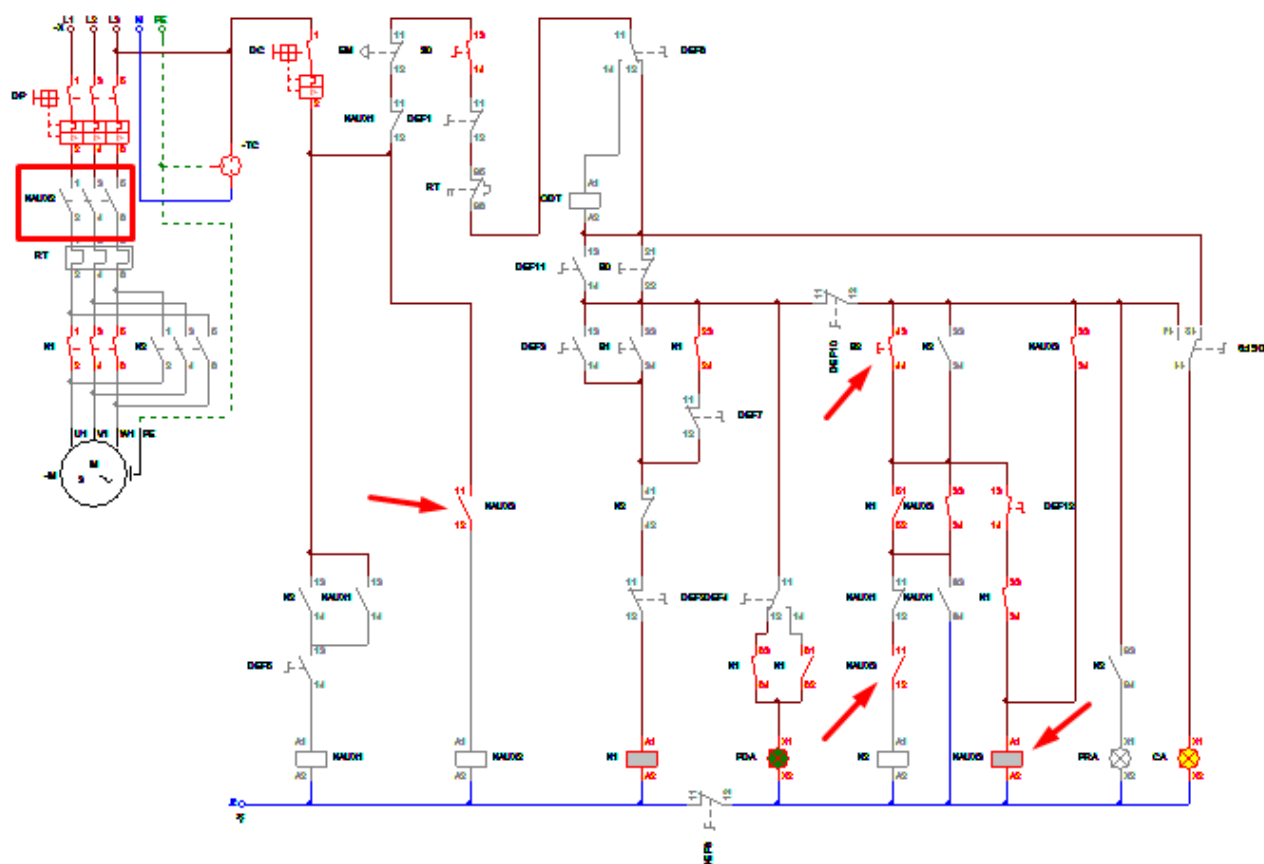
Figura 62 – Intertravamento de K1



Fonte: Criado pelos autores (2022).

Com o K1 acionado e o defeito implementado, ao pressionar B2 o contator auxiliar KAUX3 é acionado ao invés de K2, com isso o contato KAUX3 (11-12), que é responsável por manter o contator auxiliar KAUX2 acionado, e, por consequência, a alimentação do circuito de potência (Figura 63), abre simulando a abertura do disjuntor trifásico, já o contato KAUX3 (33-34) fecha, simulando que o contato de intertravamento de K1 está fundido.

Figura 63 – Defeito 12



Fonte: Criado pelos autores (2022).

Então, neste defeito, quando o estudante pressionar B2 enquanto a partida direta estiver ativa, o motor vai parar e não retornará caso ele pressione B1 ou B2 novamente.

Para que o usuário identifique a origem do defeito, ele deverá realizar o teste de tensão entre os bornes inferiores do disjuntor trifásico, onde não encontrará a tensão de 380 V e entenderá que o disjuntor abriu. Posteriormente irá verificar a origem do curto-circuito, testando a continuidade do contato de intertravamento de K1.

4.2.3 Aplicação dos defeitos

Este simulador possui uma aplicação diferente da dos encontrados, mas segue o princípio do simulador da WEG e o simulador do Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium de Araçatuba, que são por meio de chaves. Se difere na aleatoriedade no tipo de defeito e nos defeitos inéditos.

Além das chaves, que neste caso são os módulos relé, foram utilizados dispositivos auxiliares, para que fosse possível a implementação de defeitos diferentes.

4.2.3.1 Aleatoriedade

A fim de alcançar a aleatoriedade, foram utilizados arduino e módulos relé, sendo 2 módulos relé de 6 canais, sendo cada canal responsável por 1 defeito. Este dispositivo funciona como uma chave comutadora, que, neste caso, é comandada pelo arduino.

A Figura 64 traz um exemplo de módulo relé com 1 relé.

Figura 64 – Módulo relé



Fonte: Catálogo de vendas loja Auto Core (2022).

Na esquerda da imagem é possível ver os 3 parafusos onde são inseridos os cabos do circuito elétrico. Como é possível observar no desenho da placa do módulo, o borne do meio é o comum, o de baixo é o NF e o de cima é o NA, exatamente como uma chave comutadora.

Se tratando da parte eletrônica deste dispositivo, na direita da imagem é possível notar 3 pinos, sendo eles:

- IN: por onde o relé recebe o sinal do arduino;
- GND: alimentado com o GND do arduino;
- VCC: alimentado com o +5V do arduino.

O relé irá comutar, ou seja, mudar o seu estado natural, quando receber um sinal no pino IN.

Com o objetivo de auxiliar o professor/monitor na detecção do defeito e para agilizar o processo de orientação do estudante, foi inserido o display LCD, que mostra

o número do defeito que está sendo simulado naquele momento, como mostra a Figura 65.

Figura 65 – Simulação do display LCD em operação



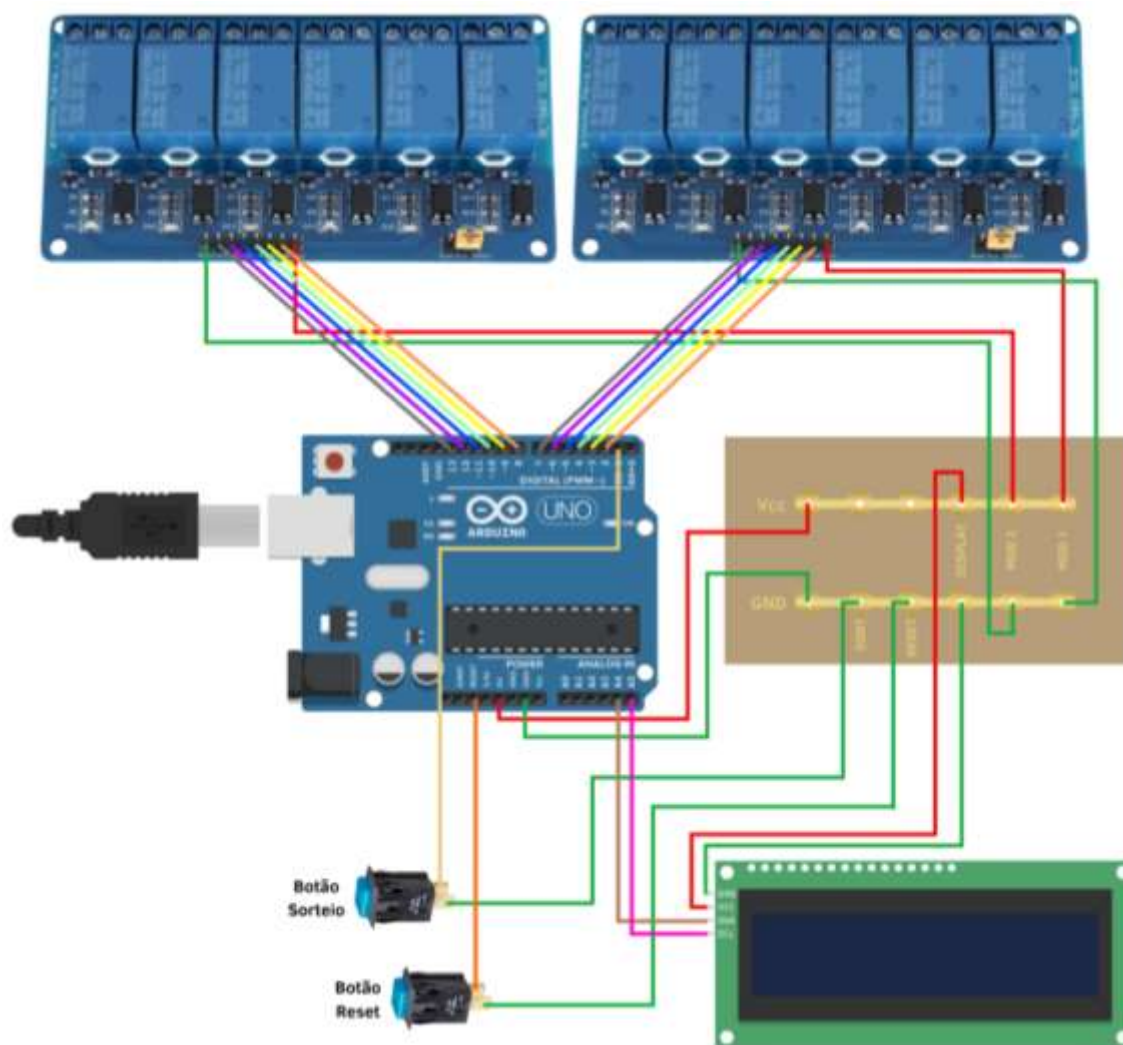
Fonte: Site Tinkercad (2022).

Além disso, a programação do arduino é de suma importância para o sucesso dos planejamentos. No código do Apêndice A foi implementada a aleatoriedade sem repetição de defeito, configuradas as portas que comandam os relés, a porta que recebe sinal de um botão *push button*, que sorteia o defeito, e o display LCD.

4.2.3.2 Diagrama da eletrônica

O diagrama de ligação eletrônica se encontra na Figura 66 logo abaixo.

Figura 66 – Diagrama eletrônica



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Para melhor controle, o sistema conta com um display LCD, este possui o módulo I2C que torna a conexão mais prática, chave para ligar a alimentação do arduino, botão *push button* para sortear o defeito a ser implementado, botão *push button* para resetar o arduino e uma placa de fenolite utilizada para realizar os jumpers de alimentação.

4.2.3.3 Planejamento dos bornes

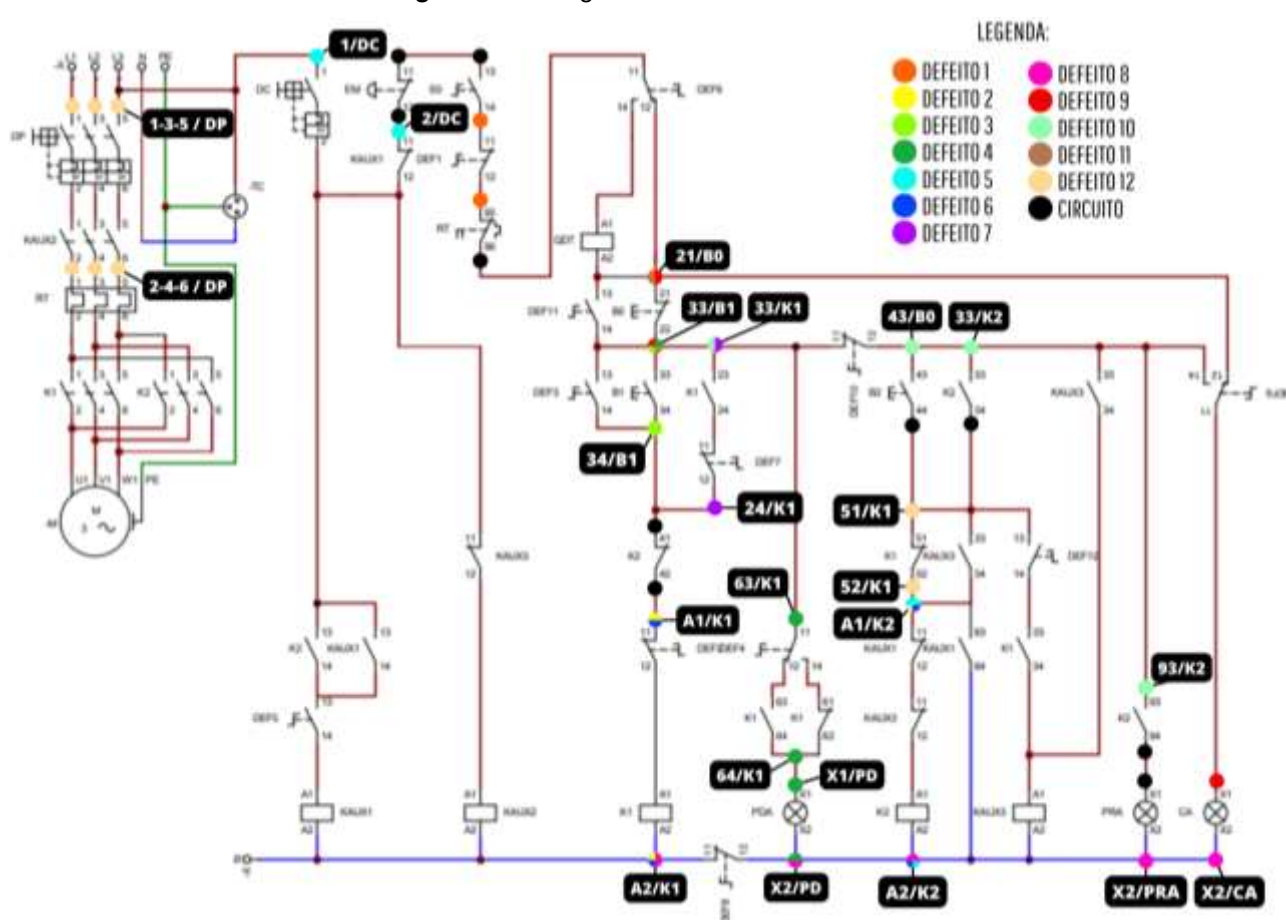
Para que todos os defeitos sejam funcionais, o estudante não pode investigá-los através do circuito real, pois os defeitos não são aplicados dentro dos dispositivos,

logo as leituras realizadas pelo multímetro, de tensão e continuidade, não fariam sentido.

Então, a porta do quadro de comandos será utilizada para apresentar o circuito adulterado, onde as leituras serão realizadas através de bornes. Para isso foram realizadas análises para definir a posição adequada para cada borne.

A Figura 67 mostra a posição de todos os bornes, assim como a legenda das cores dos mesmos, que facilita na identificação dos que constituem cada defeito.

Figura 67 – Diagrama com os bornes



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

4.3 Construção do simulador

Após definir todos os defeitos e finalizar os diagramas, iniciou-se o processo de construção deste simulador. Para a realização da montagem, é imprescindível o levantamento dos materiais necessários, buscando o dimensionamento de forma precisa, a fim de reduzir gastos.

Durante o processo de montagem foram encontradas algumas dificuldades, algumas já previstas e outras não previstas, o que provocou atraso na conclusão da montagem.

4.3.1 Materiais utilizados

Foi elaborada uma lista de materiais, que consta no Quadro 5, que posteriormente foi utilizada para realizar cotações, e assim definir o local em que seriam comprados os materiais.

Quadro 5 – Materiais utilizados (continua)

Descrição	Quantidade
Arduino Uno	1
Borne azul	50
Borne Sak	7
Botão de emergência	1
Botoeira NA	2
Botoeira NF	1
Cabo 0,3 mm	4
Cabo 2,5 mm	40
Cabo jumper F-M	20
Cabo pp de 3 vias	3
Cabo pp de 4 vias	4
Canaleta 30x30 cm	2
Chave gangorra	1
Chave push button	2
Chave seletora	1
Contato auxiliar	5
Contator	6

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Quadro 5 – Materiais utilizados (conclusão)

Descrição	Quantidade
Disjuntor monofásico	1
Disjuntor trifásico 16 A	1
Display LCD + modulo I2C	1
Fonte p/ carregador de celular	1
LED azul	1
LED verde	1
LED vermelho	1
Módulo relé 6 canais	2
Parafuso em m3x16	8
Parafuso em m3x30	4
Percloroeto de ferro 500 g	1
Placa de fenolite 5x15 cm virgem	1
Porca sextavada 03	22
Quadro 60x60 cm	1
Relé térmico	1
Tampa borne Sak	1
Terminal olhal p/ cabo 2,5 mm	50
Terminal pino p/ cabo 2,5 mm	100
Tomada de sobrepôr 10 A	1
Tomada industrial macho 16 A	1
Trilho dim	1

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

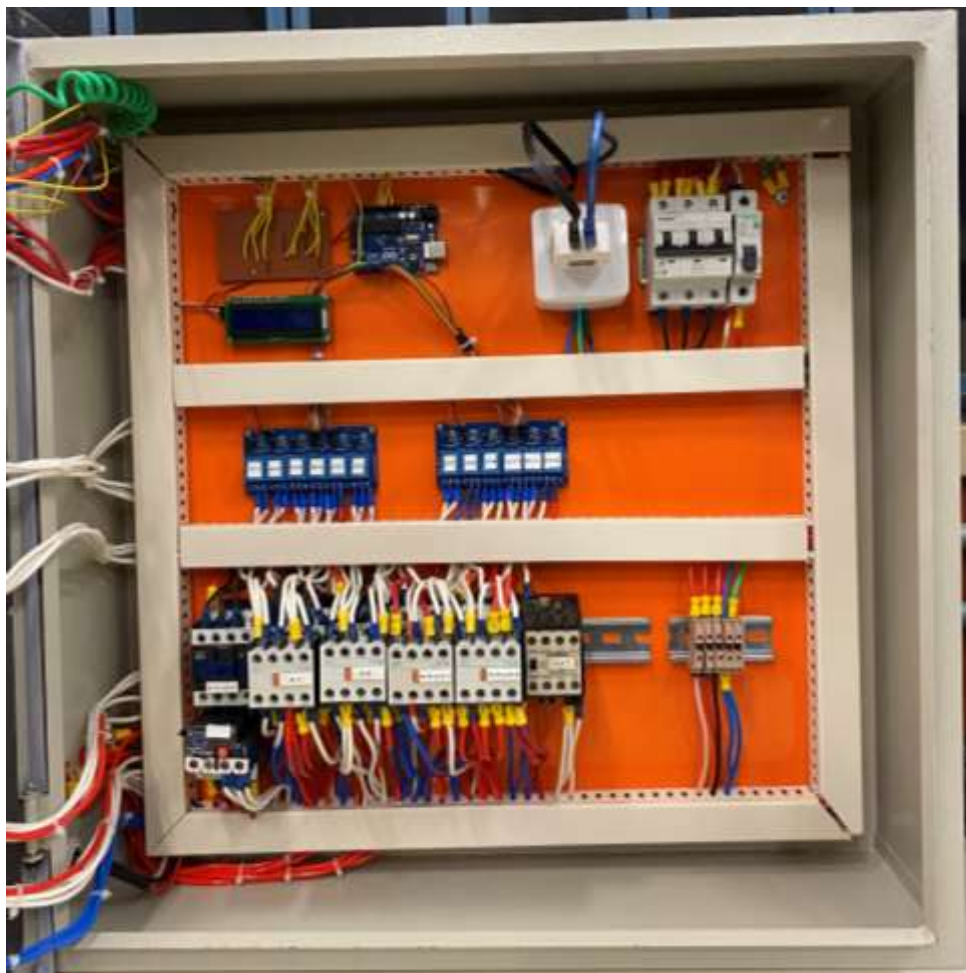
4.3.2 Processo de montagem

Com todos os componentes em mãos deu-se início a montagem do simulador, o primeiro passo foi definir a disposição dos componentes no interior do painel, que

pode ser observada na Figura 68, para que os mesmos ficassem bem distribuídos, de forma que fosse possível utilizar a menor quantidade de cabos.

o

Figura 68 – Disposição dos componentes no interior do painel

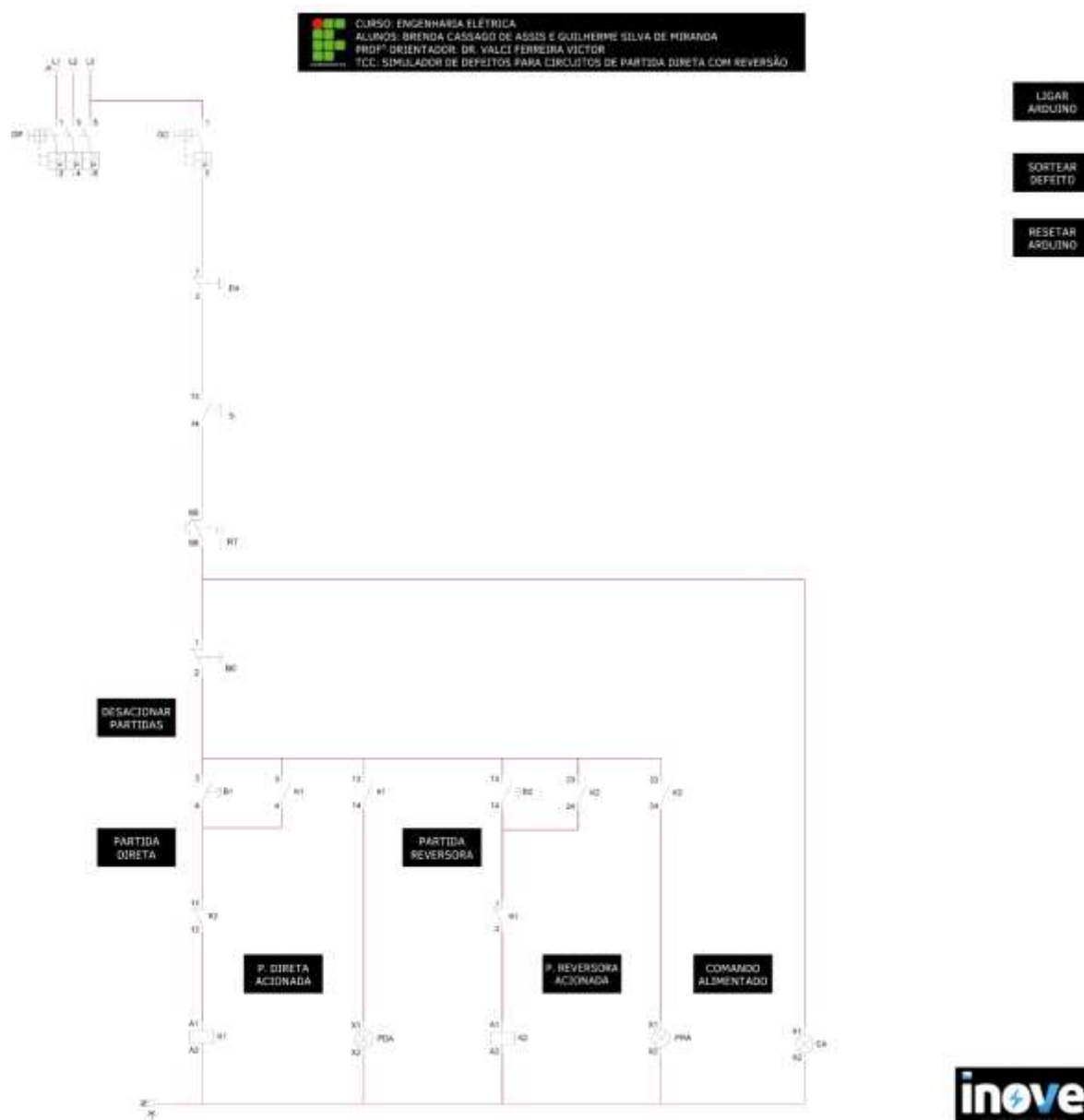


Fonte: Elaborado pelos autores.

Após definir a posição de cada componente no interior, foi definido como seria disposto o diagrama na porta do painel, local dos bornes e desenho do circuito. Para que essa decisão fosse tomada teve de se levar em consideração alguns fatores, como o possível local em que o painel será instalado e condições do ambiente.

A ideia inicial é que fosse plotado o circuito na porta do painel através de acrílico, o que não foi possível devido ao elevado custo, cerca de R\$450,00. Posteriormente foi decidido plotar o circuito através de um adesivo reforçado com película, que custa cerca de R\$120,00, considerando que o painel não ficará exposto ao sol ou chuva, a expectativa é de que a plotagem seja duradoura. A arte feita para a plotagem pode ser observada na Figura 69.

Figura 69 – Arte utilizada na plotagem do painel

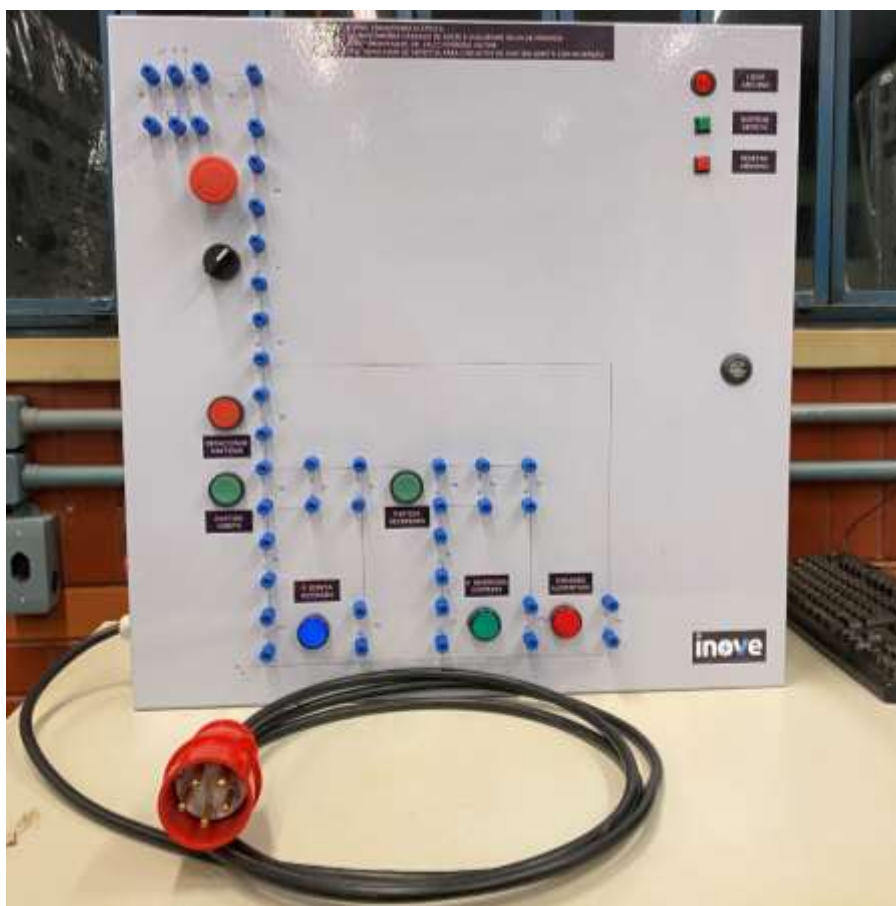


Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Em seguida foram fixados os bornes na porta do painel e iniciou-se de fato a montagem do circuito, conectando os cabos em todos os componentes. Primeiro foram feitas as conexões do circuito de potência, depois do circuito de comando, passando todos os cabos pelas canaletas para que o painel ficasse organizado.

O quadro finalizado pode ver visto na Figura 70 e Figura 71.

Figura 70 – Exterior do painel finalizado



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 71 – Interior do painel finalizado

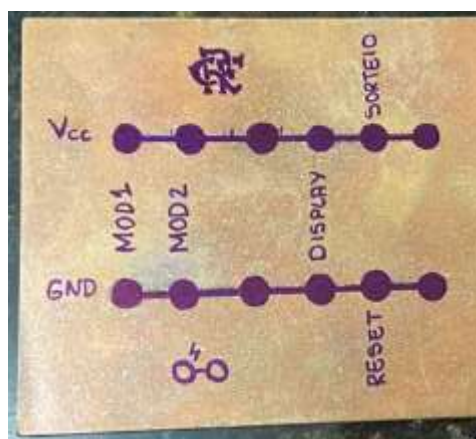


Fonte: Elaborado pelos autores.

A montagem da parte eletrônica se deu de forma simples, pois são poucos componentes e a maioria das conexões foram realizadas por cabos jumpers, onde não é necessário soldar, apenas encaixar os terminais.

Como o arduino possui apenas uma saída de 5 V e poucos *GNDs*, a placa de fenolite foi utilizada para a realização de jumpers na alimentação dos componentes de eletrônica. Para isso, foi adquirida a placa de fenolite virgem e percloroeto de ferro, primeiramente o circuito desejado foi desenhado na placa com caneta permanente (Figura 72), após isso a placa ficou 20 minutos em uma solução de 1 de percloroeto de ferro para 2 de água, essa solução corrói o cobre que não está tingido pela tinta permanente, restando apenas o circuito desenhado na placa, o resultado pode ser observado na Figura 73. Por fim foram realizados os furos das ilhas com a broca de 1 mm, os furos para os parafusos e as soldas necessárias.

Figura 72 – Foto do circuito desenhado na placa de fenolite virgem



Fonte: Acervo dos autores (2022).

Figura 73 – Foto da placa de fenolite virgem após passar pela solução



Fonte: Acervo dos autores (2022).

4.4 Manuais de utilização

Foram elaborados manuais do estudante e do professor, para que o simulador cumpra sua função didática.

O manual do aluno (Apêndice B), apresenta o simulador, o circuito de partida com reversão, passa orientações, advertências e um passo-a-passo que auxilia na detecção dos defeitos.

Já o manual do professor (Apêndice C), explica todo o equipamento. Além das informações que contém também no manual do aluno, o professor tem contato com o diagrama completo do simulador, assim como o funcionamento de cada defeito e posição dos bornes. Este manual também orienta sobre a utilização do equipamento.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 Viabilidade econômica

A construção deste simulador justifica-se na necessidade de uma ferramenta didática para capacitação de alunos, que agregue conhecimento e seja viável as universidades adquirirem. Para calcular o custo do simulador, foi considerado além do custo dos materiais utilizados, o custo profissional, pois foi dedicado tempo para a construção, aplicado conhecimento profissional e estudos foram realizados. O Quadro 6 reúne todos os custos, que totalizaram R\$9.843,35.

Quadro 6 – Custo do simulador (continua)

Descrição	Qnt	Fornecedor	Valor un.	Valor total
Arduino Uno	1	INOVE	R\$ 99,90	R\$ 99,90
Borne azul	50	IF	R\$ 2,50	R\$ 125,00
Borne Sak	7	INOVE	R\$ 4,64	R\$ 32,48
Botão de emergência	1	INOVE	R\$ 41,43	R\$ 41,43
Botoeira NA	2	INOVE	R\$ 14,96	R\$ 29,92
Botoeira NF	1	IF	R\$ 15,16	R\$ 15,16
Cabo 0,3 mm	4	INOVE	R\$ 1,99	R\$ 7,96
Cabo 2,5 mm	40	IF	R\$ 1,74	R\$ 69,60
Cabo jumper F-M	20	INOVE	R\$ 2,70	R\$ 54,00
Cabo pp de 3 vias	3	INOVE	R\$ 9,15	R\$ 27,45
Cabo pp de 4 vias	4	INOVE	R\$ 12,15	R\$ 48,60
Canaleta 30x30 cm	2	INOVE	R\$ 44,64	R\$ 89,28
Chave gangorra	1	INOVE	R\$ 8,99	R\$ 8,99
Chave push button	2	INOVE	R\$ 6,99	R\$ 13,98
Chave seletora	1	INOVE	R\$ 18,85	R\$ 18,85
Contato auxiliar	5	IF	R\$ 63,57	R\$ 317,85
Contator	6	IF	R\$ 140,43	R\$ 842,58
Disjuntor monofásico	1	IF	R\$ 8,57	R\$ 8,57
Disjuntor trisfásico 16 A	1	INOVE	R\$ 48,28	R\$ 48,28
Display LCD + modulo I2C	1	INOVE	R\$ 55,29	R\$ 55,29
Fonte p/ carregador de celular	1	INOVE	R\$ 25,79	R\$ 25,79
LED azul	1	INOVE	R\$ 25,14	R\$ 25,14
LED verde	1	INOVE	R\$ 25,14	R\$ 25,14
LED vermelho	1	IF	R\$ 25,14	R\$ 25,14
Gráfica: Manual do aluno	1	INOVE	R\$ 10,00	R\$ 10,00
Gráfica: Manual do professor	1	INOVE	R\$ 40,00	R\$ 40,00
Módulo relé 6 canais	2	INOVE	R\$ 33,48	R\$ 66,96

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Quadro 6 – Custo do simulador (conclusão)

Descrição	Qnt	Fornecedor	Valor un.	Valor total
Parafuso em m3x16	8	INOVE	R\$ 0,50	R\$ 4,00
Parafuso em m3x30	4	INOVE	R\$ 0,78	R\$ 3,12
Percloroeto de ferro 500 g	1	INOVE	R\$ 59,90	R\$ 59,90
Placa de fenolite 5x15 cm virgem	1	INOVE	R\$ 7,00	R\$ 7,00
Plotagem do quadro	1	INOVE	R\$ 120,00	R\$ 120,00
Porca sextavada 03	22	INOVE	R\$ 0,40	R\$ 8,80
Quadro 60x60 cm	1	INOVE	R\$ 700,00	R\$ 700,00
Relé térmico	1	IF	R\$ 120,07	R\$ 120,07
Tampa borne Sak	1	INOVE	R\$ 1,96	R\$ 1,96
Terminal olhal p/ cabo 2,5 mm	50	INOVE	R\$ 0,58	R\$ 29,00
Terminal pino p/ cabo 2,5 mm	100	INOVE	R\$ 0,44	R\$ 44,00
Tomada de sobrepor 10 A	1	INOVE	R\$ 8,57	R\$ 8,57
Tomada industrial macho 16 A	1	INOVE	R\$ 48,13	R\$ 48,13
Trilho dim	1	INOVE	R\$ 15,46	R\$ 15,46
Custo hora profissional	50	-	R\$ 130,00	R\$ 6.500,00
Total				R\$ 9.843,35

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Para análise da viabilidade deste projeto, foi realizada cotação com a fabricante Weg, que pode ser visualizada no Anexo 1, já que o simulador de defeitos dela foi o único encontrado para aquisição no mercado. Esse dado foi utilizado para um estudo de viabilidade econômica por comparação, entre o simulador da empresa e o construído neste trabalho. No Quadro 7 a seguir foi feito um breve comparativo entre os simuladores.

Quadro 7 – Comparativo entre o simulador WEG e o construído (continua)

Parâmetros	Simulador WEG	Simulador IFTO
Quantidade de defeitos	24	12
Tipos de simulação	Circuito aberto Curto-circuito	Circuito aberto Curto-circuito Queda de tensão Instalação mal executada

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Quadro 7 – Comparativo entre o simulador WEG e o construído (conclusão)

Parâmetros	Simulador WEG	Simulador IFTO
Custo	R\$43.833,05	R\$9.843,35
Método de implementação dos defeitos	Chaves	Módulos relés comandados por arduino.
Circuito utilizado	Partida direta com reversão Partida Y- Δ Partida direta horário Partida direta anti-horário	Partida direta com reversão

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Um produto viável entrega benefícios, inovação e satisfaz a necessidade do cliente com o menor custo do mercado. O simulador construído traz inovação nos tipos de defeitos e na aleatoriedade, além disso, possui um custo consideravelmente inferior ao encontrado para aquisição. Apesar de possuir uma quantidade de defeitos reduzida, procurou-se trabalhar com defeitos novos, e que envolvessem outros tipos de simulação.

Por fim, constatou-se que o projeto é viável, levando em conta aspectos técnicos e econômicos.

5.2 Sugestões para os próximos trabalhos

Em trabalhos futuros, é interessante analisar uma forma mais prática de o professor/monitor identificar o defeito que está sendo simulado, assim como planejar e construir uma estrutura móvel para o simulador, que possua um suporte para o motor.

Instrumentos de medição (voltímetro/amperímetro) podem ser adicionados na porta do painel, a fim de fornecer mais informações aos estudantes e auxiliá-los na identificação dos defeitos, bem como conciliar esses instrumentos com novos defeitos.

Além disso, para melhorar o design do painel e aumentar a confiabilidade das conexões, é interessante substituir a placa de fenolite por bornes para realizar os jumpers de conexão do circuito de eletrônica.

REFERÊNCIAS

BANCADA Didática: BDMW. WEG. Disponível em: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h22/hdb/WEG-bancada-didatica-BDMW-50023199-catalogo-pt.pdf>. Acesso em: 28 mai. 2022.

COLAÇO, Grace Danielle Porto de Freitas. **Ferramenta didática baseada em multimídia interativa para identificar e analisar defeitos em quadros de comandos industriais**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Faculdade de engenharia, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2018.

COMPONENTES utilizados em acionamentos dos atuadores elétricos. Disponível em: <https://materialpublic.imd.ufrn.br/curso/disciplina/1/58/5/5>. Acesso em: 29 mai. 2022.

CONTATOR ZUMBI! Você já ouviu falar dele?. Sala da Elétrica, 2019. Disponível em: <https://www.saladaeletrica.com.br/contator-com-ruído/>. Acesso em: 28 mai. 2022.

HENRIQUE, Hélio. **Comandos Elétricos: Simbologia, Associação de Contatos e Conceitos Básicos**. Mossoró. Disponível em: <https://docente.ifrn.edu.br/heliopinheiro/Disciplinas/maquinas-e-acionamentos-eletricos-ii/conceitos-de-comandos-eletricos>. Acesso em: 01 mai. 2022.

LINHA de botões de comando e sinalização: Botoeira plástica vazia, capa de silicone. Recife. Disponível em: <https://www.tron-ce.com.br/wp-content/uploads/2020/03/ficha-t%C3%A9cnica-bot%C3%B5es-e-sinais-eletronic.pdf>. Acesso em 01 mai. 2022.

MATTEDE, Henrique. **Fechamento estrela triângulo. Definição e aplicação!**. Mundo da Elétrica. Disponível em: <https://www.mundodaeletrica.com.br/fechamento-estrela-triangulo-definicao-aplicacao/>. Acesso em: 30 abr. 2022.

MORAES, Everton. **10 partidas de motores que você precisa conhecer**. Sala da Elétrica, 2014. *E-book*. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5090238/mod_resource/content/1/10-partidas-de-motores-que-voce-precisa-conhecer-Versao-1.01.pdf. Acesso em: 30 abr. 2022.

NASCIMENTO, Geraldo. **Comandos elétricos: teoria e atividades**. 1. ed. São Paulo: Editora Érica, 2011.

PINTO, Pedro Azevedo. **Elaboração de tutorial para desenvolvimento de projetos e montagem de painéis de comandos elétricos**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Faculdade de engenharia, Instituto Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 19/06/2019.

POWERSYSTEM 3400: Sistema de Ensino em Comandos, Medidas e Acionamentos Eletroeletrônicos Industriais. DK8. Disponível em: <https://dk8.com.br/produto/powersystem-3400/>. Acesso em: 28 mai. 2022.

RAMOS, Vítor de Moraes. **Desenvolvimento de um ambiente virtual para auxiliar a identificação e análise de defeitos em quadros de comandos industriais**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Faculdade de engenharia, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 28/11/2019.

SILVA, J. F.; SILVA, T. R.; OLIVEIRA, A. E. T. Painel de comandos elétricos didático com simulação de falhas. Centro Universitário Católico Salesiano, São Paulo. 2015.

TAQUES, Mauricio Martins. **Comandos elétricos industriais: Teoria**. 2016. Santa Catarina.

VICTOR, Valci Ferreira. **Apostila de comandos elétricos**.

VICTOR, Valci Ferreira. **Sistema Especialista para Detecção de Falhas em Comandos Elétricos**. Dissertação – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, 2005.

WEG. **Kit chave de partida com simulador de defeitos**: Manual do kit didático de chave de partida com simulador de defeitos, 2009. Jaraguá do Sul.

APÊNDICES

APÊNDICE A - Código usado no arduino

```
//inclusão de bibliotecas
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>

//definições
#define endereco 0x27 //definindo endereço do display
#define colunas 16 //definindo a quantidade de colunas do display
#define linhas 2 //definindo a quantidade de linhas do display
#define pinBOTsort 1 //definindo botão de sorteio do defeito
#define rele1 2 //definindo p pino 2 como sendo do relé 1
#define rele2 3 //definindo p pino 3 como sendo do relé 2
#define rele3 4 //...
#define rele4 5
#define rele5 6
#define rele6 7
#define rele7 8
#define rele8 9
#define rele9 10
#define rele10 11
#define rele11 12
#define rele12 13
int defeito = 0; //definindo a variável defeito
int defeisort[12]; //definindo o tamanho do vetor dos defeitos sorteados

//instanciando o display
LiquidCrystal_I2C lcd(endereco, colunas, linhas);

void setup()
{
```

```

lcd.init(); //iniciando a comunicação com o display
lcd.backlight(); //ligando a iluminação do display
lcd.clear(); //resetando os caracteres do display
Serial.begin(9600);
delay(500);

```

```

//definindo os pinos do arduino e setando o nível lógico:

```

```

pinMode(0, OUTPUT);

```

```

pinMode(1, INPUT);

```

```

pinMode(rele1, OUTPUT);

```

```

digitalWrite(rele1, HIGH); //os relés utilizados tem como nível lógico baixo

```

HIGH

```

pinMode(rele2, OUTPUT);

```

```

digitalWrite(rele2, HIGH);

```

```

pinMode(rele3, OUTPUT);

```

```

digitalWrite(rele3, HIGH);

```

```

pinMode(rele4, OUTPUT);

```

```

digitalWrite(rele4, HIGH);

```

```

pinMode(rele5, OUTPUT);

```

```

digitalWrite(rele5, HIGH);

```

```

pinMode(rele6, OUTPUT);

```

```

digitalWrite(rele6, HIGH);

```

```

pinMode(rele7, OUTPUT);

```

```

digitalWrite(rele7, HIGH);

```

```

pinMode(rele8, OUTPUT);

```

```

digitalWrite(rele8, HIGH);

```

```

pinMode(rele9, OUTPUT);

```

```

digitalWrite(rele9, HIGH);

```

```

pinMode(rele10, OUTPUT);

```

```

digitalWrite(rele10, HIGH);

```

```

pinMode(rele11, OUTPUT);

```

```

digitalWrite(rele11, HIGH);

```

```

pinMode(rele12, OUTPUT);

```

```

digitalWrite(rele12, HIGH);

```

```

    randomSeed( analogRead(A0) ); //definindo a base do random como a porta
analógica A0 do arduino
}

void loop() {

    while (!digitalRead(pinBOTsort)) { //quando o botão de sorteio for pressioando
a programação entra neste while
        delay(1000); //delay para o arduino sortear apenas um número por vez
        lcd.clear(); //limpando os caracteres do display
        for (int nL = 0; nL <= 11; nL++) { //definindo o intervalo para a operação do
for

            bool achado = false;
            while (!achado) {
                defeito = (random(1,13)); //sortea um numero de 1 a 12

            bool sorteado = false;
            for(int nV = 0; nV < nL; nV++) { //verificando se o numero já não foi sorteado
                if (defeisort [nV] == defeito) {
                    sorteado = true;
                    break;
                }
            }

            if (!sorteado){
                defeisort [nL] = defeito;
                achado = true; //o novo defeito foi encontrado
            }
        }
    }
}

```

switch (defeito) { //abrindo um switch case para acionar do relé
correspondente ao defeito

case 1: //caso o defeito sorteado seja o 1

```
digitalWrite(rele1, LOW); //relé 1 sendo acionado
digitalWrite(rele2, HIGH);
digitalWrite(rele3, HIGH);
digitalWrite(rele4, HIGH);
digitalWrite(rele5, HIGH);
digitalWrite(rele6, HIGH);
digitalWrite(rele7, HIGH);
digitalWrite(rele8, HIGH);
digitalWrite(rele9, HIGH);
digitalWrite(rele10, HIGH);
digitalWrite(rele11, HIGH);
digitalWrite(rele12, HIGH);
break;
```

case 2:

```
digitalWrite(rele1, HIGH);
digitalWrite(rele2, LOW);
digitalWrite(rele3, HIGH);
digitalWrite(rele4, HIGH);
digitalWrite(rele5, HIGH);
digitalWrite(rele6, HIGH);
digitalWrite(rele7, HIGH);
digitalWrite(rele8, HIGH);
digitalWrite(rele9, HIGH);
digitalWrite(rele10, HIGH);
digitalWrite(rele11, HIGH);
digitalWrite(rele12, HIGH);
break;
```

case 3:

```
digitalWrite(rele1, HIGH);
digitalWrite(rele2, HIGH);
digitalWrite(rele3, LOW);
```

```
digitalWrite(rele4, HIGH);  
digitalWrite(rele5, HIGH);  
digitalWrite(rele6, HIGH);  
digitalWrite(rele7, HIGH);  
digitalWrite(rele8, HIGH);  
digitalWrite(rele9, HIGH);  
digitalWrite(rele10, HIGH);  
digitalWrite(rele11, HIGH);  
digitalWrite(rele12, HIGH);  
break;
```

case 4:

```
digitalWrite(rele1, HIGH);  
digitalWrite(rele2, HIGH);  
digitalWrite(rele3, HIGH);  
digitalWrite(rele4, LOW);  
digitalWrite(rele5, HIGH);  
digitalWrite(rele6, HIGH);  
digitalWrite(rele7, HIGH);  
digitalWrite(rele8, HIGH);  
digitalWrite(rele9, HIGH);  
digitalWrite(rele10, HIGH);  
digitalWrite(rele11, HIGH);  
digitalWrite(rele12, HIGH);  
break;
```

case 5:

```
digitalWrite(rele1, HIGH);  
digitalWrite(rele2, HIGH);  
digitalWrite(rele3, HIGH);  
digitalWrite(rele4, HIGH);  
digitalWrite(rele5, LOW);  
digitalWrite(rele6, HIGH);  
digitalWrite(rele7, HIGH);  
digitalWrite(rele8, HIGH);  
digitalWrite(rele9, HIGH);
```

```
digitalWrite(rele10, HIGH);  
digitalWrite(rele11, HIGH);  
digitalWrite(rele12, HIGH);  
break;
```

case 6:

```
digitalWrite(rele1, HIGH);  
digitalWrite(rele2, HIGH);  
digitalWrite(rele3, HIGH);  
digitalWrite(rele4, HIGH);  
digitalWrite(rele5, HIGH);  
digitalWrite(rele6, LOW);  
digitalWrite(rele7, HIGH);  
digitalWrite(rele8, HIGH);  
digitalWrite(rele9, HIGH);  
digitalWrite(rele10, HIGH);  
digitalWrite(rele11, HIGH);  
digitalWrite(rele12, HIGH);  
break;
```

case 7:

```
digitalWrite(rele1, HIGH);  
digitalWrite(rele2, HIGH);  
digitalWrite(rele3, HIGH);  
digitalWrite(rele4, HIGH);  
digitalWrite(rele5, HIGH);  
digitalWrite(rele6, HIGH);  
digitalWrite(rele7, LOW);  
digitalWrite(rele8, HIGH);  
digitalWrite(rele9, HIGH);  
digitalWrite(rele10, HIGH);  
digitalWrite(rele11, HIGH);  
digitalWrite(rele12, HIGH);  
break;
```

case 8:

```
digitalWrite(rele1, HIGH);
```

```
digitalWrite(rele2, HIGH);  
digitalWrite(rele3, HIGH);  
digitalWrite(rele4, HIGH);  
digitalWrite(rele5, HIGH);  
digitalWrite(rele6, HIGH);  
digitalWrite(rele7, HIGH);  
digitalWrite(rele8, LOW);  
digitalWrite(rele9, HIGH);  
digitalWrite(rele10, HIGH);  
digitalWrite(rele11, HIGH);  
digitalWrite(rele12, HIGH);  
break;
```

case 9:

```
digitalWrite(rele1, HIGH);  
digitalWrite(rele2, HIGH);  
digitalWrite(rele3, HIGH);  
digitalWrite(rele4, HIGH);  
digitalWrite(rele5, HIGH);  
digitalWrite(rele6, HIGH);  
digitalWrite(rele7, HIGH);  
digitalWrite(rele8, HIGH);  
digitalWrite(rele9, LOW);  
digitalWrite(rele10, HIGH);  
digitalWrite(rele11, HIGH);  
digitalWrite(rele12, HIGH);  
break;
```

case 10:

```
digitalWrite(rele1, HIGH);  
digitalWrite(rele2, HIGH);  
digitalWrite(rele3, HIGH);  
digitalWrite(rele4, HIGH);  
digitalWrite(rele5, HIGH);  
digitalWrite(rele6, HIGH);  
digitalWrite(rele7, HIGH);
```

```
digitalWrite(rele8, HIGH);  
digitalWrite(rele9, HIGH);  
digitalWrite(rele10, LOW);  
digitalWrite(rele11, HIGH);  
digitalWrite(rele12, HIGH);  
break;  
case 11:  
digitalWrite(rele1, HIGH);  
digitalWrite(rele2, HIGH);  
digitalWrite(rele3, HIGH);  
digitalWrite(rele4, HIGH);  
digitalWrite(rele5, HIGH);  
digitalWrite(rele6, HIGH);  
digitalWrite(rele7, HIGH);  
digitalWrite(rele8, HIGH);  
digitalWrite(rele9, HIGH);  
digitalWrite(rele10, HIGH);  
digitalWrite(rele11, LOW);  
digitalWrite(rele12, HIGH);  
break;  
case 12:  
digitalWrite(rele1, HIGH);  
digitalWrite(rele2, HIGH);  
digitalWrite(rele3, HIGH);  
digitalWrite(rele4, HIGH);  
digitalWrite(rele5, HIGH);  
digitalWrite(rele6, HIGH);  
digitalWrite(rele7, HIGH);  
digitalWrite(rele8, HIGH);  
digitalWrite(rele9, HIGH);  
digitalWrite(rele10, HIGH);  
digitalWrite(rele11, HIGH);  
digitalWrite(rele12, LOW);  
break;
```

```
}
```

```
    lcd.setCursor(2, 0); //posicionando o cursor do display
```

```
    lcd.print("SIMULANDO O "); //escrevendo no display
```

```
    lcd.setCursor(3, 1); //posicionando o cursor do display
```

```
    lcd.print("DEFEITO "); //escrevendo no display
```

```
    lcd.print(defeito); //escrevendo no display o número do defeito
```

```
}
```

```
delay(300);
```

```
}
```

APÊNDICE B – Manual do Aluno



APÊNDICE C – Manual do Professor



ANEXOS**ANEXO A - Cotação simulador Weg****WEG DRIVES & CONTROLS - AUTOMACAO LTDA**

Proposta: 21483890_22-R0

DATA: 26/ 09 / 2022

Página: 17 / 21

5. PREÇOS

Item	Descrição	Quant.	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
1.1	BANCADA PRINCIPAL	01	30.022,11	30.022,11
1.6	KIT CHAVES DE PARTIDA COM SIMULADOR DE DEFEITOS	01	13.810,94	13.810,94