



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO  
FACULDADE DE ARQUITETURA, ENGENHARIA E TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

**JEAN VINÍCIUS DE SOUZA**

**AUTOMAÇÃO EM ACIONAMENTOS DE 2 MOTORES DE INDUÇÃO TRIFÁSICOS À  
AUTOTRANSFORMADOR - VIA SISTEMA SUPERVISÓRIO.**

CUIABÁ – MT  
DEZEMBRO, 2022

JEAN VINÍCIUS DE SOUZA

**AUTOMAÇÃO EM ACIONAMENTOS DE 2 MOTORES DE INDUÇÃO TRIFÁSICOS À  
AUTOTRANSFORMADOR - VIA SISTEMA SUPERVISÓRIO.**

Trabalho Final de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Mato Grosso, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador:  
Prof. Dr. Mário Kiyoshi Kawaphara

CUIABÁ – MT  
DEZEMBRO, 2022

## Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

S729a Souza, Jean Vinicius de.

Automação em acionamentos de 2 motores de indução trifásicos à autotransformador - via sistema supervisório [recurso eletrônico] / Jean Vinicius de Souza. -- Dados eletrônicos (1 arquivo : 58 f., il. color., pdf). -- 2022.

Orientador: Mario Kiyoshi Kawaphara.

TCC (graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Mato Grosso, Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia, Cuiabá, 2022.

Modo de acesso: World Wide Web: <https://bdm.ufmt.br>.

Inclui bibliografia.

1. Controle, Convencional, CLP, Supervisório. I. Kawaphara, Mario Kiyoshi, *orientador*.  
II. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.

# UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

## DESPACHO

Processo nº 23108.102341/2022-30

Interessado: JEAN VINICIUS DE SOUZA

### FOLHA DE APROVAÇÃO

#### TÍTULO DA MONOGRAFIA:

Automação em acionamentos de 2 motores de indução trifásicos à Autotransformador – via sistema supervisório.

ALUNO: JEAN VINICIUS DE SOUZA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia da Universidade Federal de Mato Grosso, como requisito para a obtenção de grau de bacharel em Engenharia Elétrica.

Aprovada em 15 de dezembro de 2022.

Nota: 6,99

#### BANCA EXAMINADORA

**Prof. Mario Kiyoshi Kawaphara**

**Orientador**

**Eng. Eletricista: Diego dos Santos Lemes**

**Examinador**

**Eng. Eletricista: Túlio Sérgio José da Silva**



Documento assinado eletronicamente por **MARIO KIYOSHI KAWAPHARA, Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 15/12/2022, às 16:21, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **TULIO SERVIO JOSE DA SILVA, Técnico Administrativo em Educação da CEG em Eng. Elétrica / FAET - UFMT**, em 15/12/2022, às 16:22, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **DIEGO DOS SANTOS LEMES, Técnico Administrativo em Educação da CEG em Eng. Elétrica / FAET - UFMT**, em 15/12/2022, às 16:22, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [http://sei.ufmt.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sei.ufmt.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **5358526** e o código CRC **4C1C5A2B**.

## RESUMO

SOUZA, J. V. **Automação Em Acionamentos de 2 Motores de Indução Trifásicos À Autotransformador - Via Sistema Supervisório.** 2022. 57f. Trabalho Final de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá, 2022.

Este trabalho apresenta a elaboração de um projeto de controle de um módulo didático convencional do laboratório de eletrotécnica industrial. O projeto de controle utiliza a lógica de comando do módulo convencional e replica para um CLP e um sistema supervisório. É apresentado no trabalho o processo de programação e simulação deste controle. No fim com a programação do CLP, é feita a comparativa entre os dois tipos de controle, o convencional e o automatizado através do CLP com o uso do supervisório. Espera-se com este trabalho mostre como as novas tecnologias podem ser utilizadas além de servir como ponte para aqueles que querem entender ambos os sistemas convencionais e automatizados.

Palavras-chave: Controle. Convencional. CLP. Supervisório.

## **ABSTRACT**

This paper presents the elaboration of a control project of a conventional didactic module of the laboratory of industrial electrotechnics. The control project uses the command logic of the conventional module and replicates it to a PLC and supervisory system. The process of programming and simulation of this control is presented in the work. At the end of the PLC programming, is made the comparison between the two types of control, the conventional and the automated through the PLC with the use of the supervisory. It is expected with this work to show how new technologies can be used in addition to serving as a bridge for those who want to understand both conventional and automated systems.

**Keywords:** Didactic module. Control. Conventional. PLC. Supervisory.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Fórmula do Fluxo magnético em uma Superfície .....	15
Figura 2: Variação no campo magnético .....	16
Figura 3: Transformador Elétrico .....	16
Figura 4: Relação de das Espiras e Tensão Entre o Primário e o Secundário .....	17
Figura 5: Autotransformador .....	17
Figura 6: transformador ligado como autotransformador.....	18
Figura 7: Rompimento do secundário .....	18
Figura 8: Revolução do Rotor na Máquina CC .....	19
Figura 9: Tipos de Motores CC .....	20
Figura 10: Tipos de motores CA .....	20
Figura 11: Campo magnético do Estator e do Rotor .....	21
Figura 12: Diagrama Partida Direta.....	22
Figura 13: Gráfico da corrente de partida direta.....	23
Figura 14: Diagrama de motores em cadeia .....	24
Figura 15: Ligação das bobinas do motor .....	24
Figura 16: Corrente de Partida - Ligação Estrela .....	25
Figura 17: Diagrama de partida Estrela-Triangulo.....	25
Figura 18: Corrente de Partida a autotransformador .....	26
Figura 19: Diagrama de Força Partida a Autotransformador .....	28
Figura 20: Esquema de Ligação Genérico.....	29
Figura 21: Exemplo em Diagrama dos Contatos.....	30
Figura 22: Exemplo de um CLP Weg Plc300 Hp-h3 .....	31
Figura 23: Exemplo da edição de módulos .....	32
Figura 24: Blocos em Ladder .....	33
Figura 25: Comparação de Portas Lógicas em Ladder.....	33
Figura 26: Diagrama de Blocos funcionais .....	34
Figura 27: ATOS 4004G92SC - IHM 4x20 LCD display de dígito grande 9x5mm .....	35
Figura 28: Janela de entrada do Software WinSUP2 .....	36
Figura 29:Tela de Produção de Novo Projeto .....	36
Figura 30: Ambiente de Programação .....	37
Figura 31: Configuração do IHM .....	37

Figura 32: Foto do Painel do Laboratório .....	38
Figura 33: Foto dos Motores .....	39
Figura 34: Foto do Autotransformador.....	39
Figura 35: Diagrama de Força da partida de 2 Motores Via Autotransformador.....	40
Figura 36: Entradas Digitais do CLP ATOS .....	41
Figura 37: Teclado IHM .....	42
Figura 38: Quadro de Comandos do Painel de Partida a Autotransformador .....	43
Figura 39: Parte 1 - Motor 1 .....	44
Figura 40: Figura 39: Parte 2 - Motor 2 .....	45
Figura 41: Parte3 - Controle do Autotransformador .....	46
Figura 42: Parte 4 - Controle dos Temporizadores.....	47
Figura 43: Parte 5 - Controle do Acionamento Automático.....	47
Figura 44: Configuração das Telas do IHM .....	49
Figura 45: Tela IHM.....	50
Figura 46: IHM Acionamento Parte 1 .....	50
Figura 47: IHM Acionamento Parte 2 .....	51
Figura 48: IHM Acionamento Parte 3 .....	51
Figura 49: IHM Temporização .....	51
Figura 50: IHM Tempo de Descanso .....	52
Figura 51: Supervisório - Motores Desligados.....	52
Figura 52: Supervisório - Motor 1 Ligado.....	53
Figura 53: Supervisório - Motor 1 e 2 Ligado.....	53
Figura 54:Supervisório - Motor 2 Ligado por Autotrafo.....	54
Figura 55: Tags auxiliares .....	55
Figura 56: Timers das operações .....	55

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Relação da Redução da Corrente e do Torque .....	27
--	----

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

CLP – Controlador Lógico Programável;

CC – Corrente Contínua;

CA – Corrente Alternada.

Autotrafo – Autotransformador

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
1.1	Justificativa .....	13
1.2	Objetivo Geral.....	14
1.3	Objetivos Específicos .....	14
2	REVISÃO TEÓRICA .....	15
2.1	Transformadores elétricos.....	15
2.2	Autotransformador.....	17
2.3	Motores Elétricos .....	19
2.4	Partida de motores elétricos .....	22
2.5	Partida a Autotransformador.....	26
2.6	Quadros de Comandos Elétricos .....	28
2.7	Controlador Lógico Programável .....	30
2.8	Linguagem de Programação do CLP .....	32
2.9	Supervisório .....	34
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	35
3.1	Programação do CLP .....	35
3.2	Funcionamento do Módulo para o CLP.....	38
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	44
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	56
5.1	Sugestão Para Trabalhos Futuros.....	56
	REFERÊNCIAS .....	57

# 1 INTRODUÇÃO

A indústria, após o século XXVIII, esteve por constante mudanças, o advento dos motores elétricos impulsionou ainda mais as produções de bens. Contudo isso ocasionou diversas mudanças para a indústria, a partida desses motores requer um cuidado mais detalhado e logo não demorou para surgir os sistemas de acionamento de motores elétricos. Esses sistemas eram compostos por grandes quadros onde diversos contadores, relés, temporizadores permitiam não só a partida mais suave desses motores, mas também a automatização do processo em larga escala. Esses sistemas se tornaram cada vez maiores e mais complexos demandando melhores tecnologias para sua automatização, foi assim que, no período da década de 60, foram desenvolvidos os primeiros controladores lógicos programáveis (CLP), que se tornariam destaque na indústria, principalmente nas automobilísticas da época. Esses equipamentos foram atualizados cada vez mais permitindo suas posições no mercado, tanto os métodos convencionais como os automatizados.

A utilização de um CLP permite que seja automatizado proporcionando uma redução bem grande nos componentes auxiliares, como relés, esses equipamentos permitem a programação e a gravação de seus programas sendo assim, não é necessário que o desenvolvedor do programa trabalhe diretamente com a máquina. Ele também permite o monitoramento e controle a longas distâncias do seu sistema através da utilização de sistemas supervisórios. O sistema supervisório permite que seja implementado uma maneira compreensiva do funcionamento do sistema por meio de telas interativas que irão mostrar as o estado do sistema, seus componentes e suas grandezas.

## 1.1 Justificativa

Por muito tempo os processos tem sido cada vez mais automatizados de diversas maneiras. Os surgimentos constantes de novas tecnologias aumentam a demanda da produção de bens primários, secundários e terciários. Dessa forma é necessário que os sistemas antigos sejam substituídos pelos novos métodos.

Este projeto é realizado com o propósito de contribuir para o conhecimento existente sobre a utilização de CLPs no controle de partida de motores elétricos, assim como, a sua programação e acionamento e monitoramento via utilização de um sistema supervisório. O projeto tem por foco, portanto, representar o processo da programação do CLP e do supervisório utilizando como base o modulo convencional.

A abertura de estudos e projetos relacionados aos módulos didáticos dos laboratórios da faculdade possibilitam ainda mais o avanço da universidade e o conhecimento dos alunos não somente pelo estudo, mas também pela participação ativa nestes sistemas automatizados.

## 1.2 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo fazer o acionamento de dois motores elétricos com chave compensadora, também conhecida como partida a autotransformador, através do uso de um CLP (Controlador Lógico Programável) e do intermédio de um programa supervisorio, para que possa ser comparado o uso do CLP e um sistema supervisorio com o uso de quadro de comandos de relés e contadores auxiliares.

## 1.3 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos são:

- a) Apresentar as diferenças do quadro antigo para o quadro controlado por CLP.
- b) Programar o CLP utilizando a linguagem *Ladder* e a configuração do *IHM* para melhorar a comunicação como o operador no acionamento de dois motores versus sistema convencional por meio de dispositivos eletromecânicos e eletrônicos.
- c) Desenvolver e apresentar o supervisorio através do *Software Elypse Scada*.

## 2 REVISÃO TEÓRICA

### 2.1 Transformadores elétricos

Transformadores elétricos são equipamentos muito utilizados na engenharia elétrica para diversas aplicações, são necessários nos sistemas de geração, transmissão e distribuição de energia, assim como, também é indispensável em muitas aplicações industriais. Sendo uma máquina elétrica é baseada na lei de Faraday.

Por meio de observações os cientistas da época puderam perceber que durante a energização de um circuito com energia elétrica que outros próximos exibiam uma pequena e súbita variação de corrente e que o sentido da corrente gerada era diferente para a energização e desligamento do circuito próximo. Dessa maneira foi possível concluir que a variação do campo magnético gerado durante o ligar e desligar era responsável pelo fenômeno.

A própria ideia de fluxos magnéticos e linhas de campos foi de grande parte contribuição de Faraday. Essa forma de pensar só seria aceita e usada de forma sistemática pelos cientistas após sua morte, mas sua importância pode ser percebida pelo fato de Maxwell ter dado a seu primeiro artigo, de 1856, o título “*On Faraday’s lines of force*”, posteriormente chamado de “*On physical lines of force*” após a correção da lei de Ampère (BEZERRA, 2016). Na notação de cálculo, o fluxo em uma superfície é definido como na figura 1:

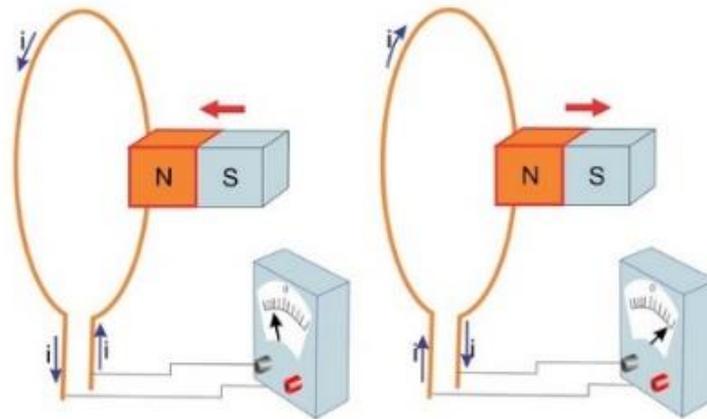
Figura 1: Fórmula do Fluxo magnético em uma Superfície.

$$\Phi_B = \int \vec{B} \cdot d\vec{A}$$

Fonte: Lei de Faraday e Henry.

A direção do fluxo magnético é importante, através da conservação de energia, quando o campo magnético existente se aproxima ou varia de qualquer forma em relação ao circuito, é respondido com um campo magnético que se opõe a ele. De certa forma, contanto que o objeto aproximado possua material condutor e seja capaz de criar uma corrente elétrica em um caminho fechado, o resultado será na Produção de um campo magnético variante oposto ao que foi exposto, por consequência energizando o circuito.

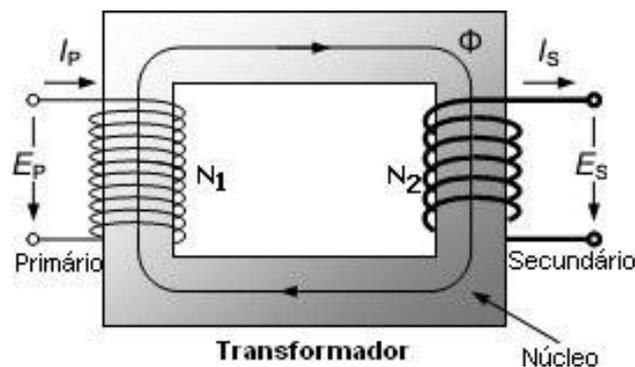
Figura 2: Variação no campo magnético.



Fonte: REYES, 2016.

Conforme a figura 2, um dos exemplos mais didáticos, a variação do campo magnético em uma espira gera uma força eletromotriz, ou seja, tensão elétrica, a qual fechando o circuito gera corrente elétrica variável. Seguindo esse princípio, então passando uma corrente variável por meio de uma espira, será gerado um campo magnético variável por meio dela. Desse modo, ao se utilizar materiais ferromagnéticos para de conduzir o fluxo magnético de modo mais eficiente, é possível a indução de um campo variável em outra espira apenas alimentando um lado do circuito com corrente, concretizando a Produção dos princípios básicos do transformador elétrico.

Figura 3: Transformador Elétrico.



Fonte: CHAPMAN, 2013.

O transformador elétrico permitiu duas coisas, a construção de sistemas sem uma conexão elétrica física entre si, ou seja, isolamento galvânico e utilização de diferentes níveis de tensões. Com a conservação de energia a principal característica, foi possibilitado pela relação de transformação da tensão entre o primário e secundário, que dependente da quantidade de espiras em cada enrolamento, a figura 4 mostra equação que relaciona essas unidades.

Figura 4: Relação de das Espiras e Tensão Entre o Primário e o Secundário.

$$\frac{v_P(t)}{v_S(t)} = \frac{N_P}{N_S} = a$$

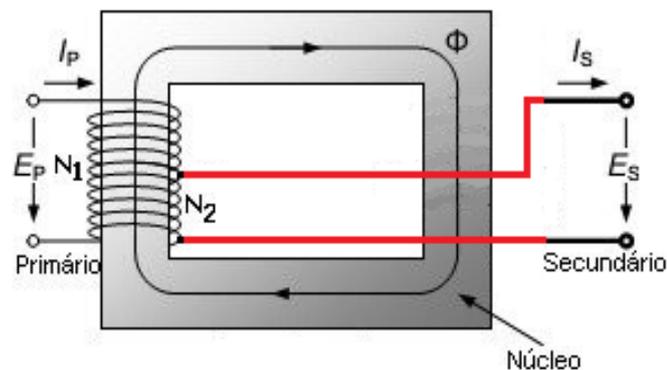
Fonte: CHAPMAN, 2013.

Essa relação contribuiu com a produção de transformadores elevadores e abaixadores de tensão, especialmente usados para a transmissão de energia elétrica, e transformadores abaixadores, como os utilizados nas redes de distribuição. Contudo, através da Produção do transformador de modo isolado, foi possível a produção do autotransformador.

## 2.2 Autotransformador

O autotransformador é uma variação do transformador elétrico, na figura 5 é possível notar que ele segue todas os princípios do mesmo, contendo apenas uma diferença, desta vez além da indução pelo fluxo magnético também existe uma ligação elétrica entre as bobinas do primário e do secundário, permitindo assim uma conversão ainda mais eficiente de energia entre ambas as partes.

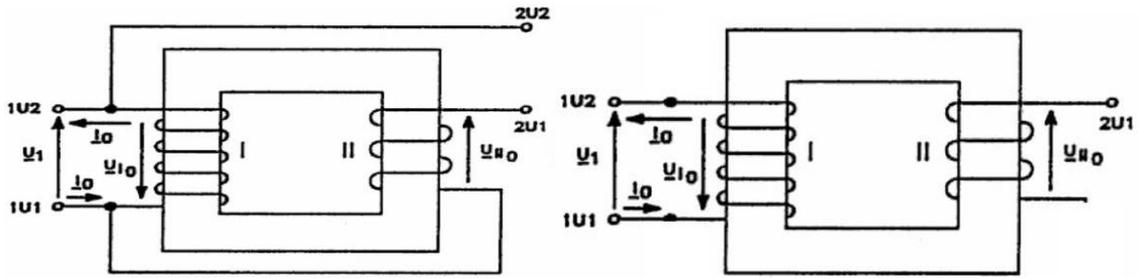
Figura 5: Autotransformador.



Fonte: CHAPMAN, 2013.

Como a única diferença é essa ligação, um transformador comum também pode ser condicionado para funcionar como um autotransformador, assim como a figura 6 demonstra. Porém existem várias diferenças construtivas entre eles, os autotransformadores possuem apenas um núcleo e um enrolamento, são bem menores, possuem menor impedância e corrente de excitação, tudo isso contribuindo para uma eficiência muito melhor para o autotrafo, contudo, recomenda-se seu uso para relações próximas de um para um.

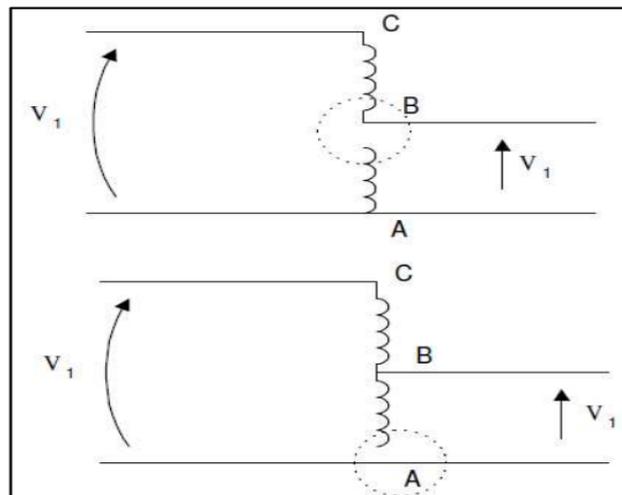
Figura 6: transformador ligado como autotransformador.



Fonte: DESTER, 2019.

Por conta do baixo preço, tamanho e eficiência, comparado com o transformador isolador, o autotransformador ganha muito destaque como alimentador de circuitos com pequenas diferenças de tensão, como por exemplo, um motor elétrico em partida, equipamentos cuja tensão é maior que disponível pela rede de distribuição local. Tal utilização acompanha a facilidade de se definir os TAPs, pois por conter um enrolamento, é possível saber a relação de transformação pelo tamanho da bobina. Vale destacar que um dos perigos de se utilizar autotransformadores com tensões mais discrepantes, como por exemplo, na rede de distribuição, um possível rompimento do enrolamento, toda a tensão de alimentação primaria seria enviada para o secundário, causando danos e perigos que o transformador isolador não teria. Na figura 7 demonstra o rompimento da bobina.

Figura 7: Rompimento do secundário.



Fonte: CHAPMAN, 2013.

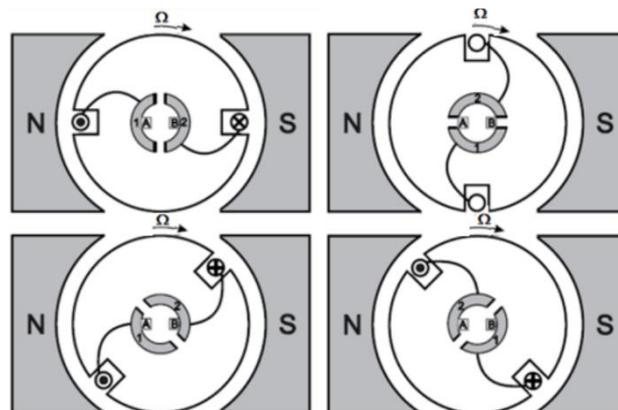
### 2.3 Motores Elétricos

Máquinas elétricas são máquinas eletromecânicas cujo funcionamento baseia-se no fenômeno da indução eletromagnética. Podem ser divididas baseado no seu movimento, máquinas rotativas são aquelas que fazem a conversão entre energia elétrica e energia mecânica para criar movimento e máquinas estáticas ou estacionárias são aquelas com princípio de apenas transformação de energia elétrica. Essas máquinas giratórias seriam os motores elétricos e pela sua estrutura similar a dos transformadores, eles possuem  $I_p$  (Corrente Primária), originada de sua armadura que é diretamente ligada a rede, entre as estacionárias estão os transformadores e autotrafos.

Motores elétricos, por definição, é a máquina com a capacidade de transformar energia elétrica em energia mecânica útil para uma carga (FILHO, 2017). Invertendo o princípio de transformação temos um gerador elétrico. Motores elétricos possuem dois grandes grupos, os movidos por corrente contínua e os movidos por corrente alternada.

Motores de corrente contínua funcionam com o princípio de ímãs permanentes, já que a corrente contínua apenas produz campos magnéticos estáticos, para o funcionamento total da máquina CC é necessário de um mecanismo para oferecer essa mudança ao campo magnético. O comutador, através do deslizamento de escovas no rotor do motor, faz a mudança do campo magnético, permitindo assim o giro por indução magnética, demonstrado na figura 8:

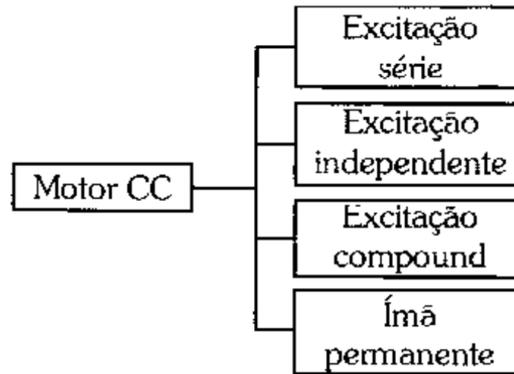
Figura 8: Revolução do Rotor na Máquina CC.



Fonte: DESTER, 2019.

Os motores de corrente contínua são classificados de acordo com o modo de conexão do indutor e das bobinas induzidas, existindo quatro tipos mostrados na figura 9.

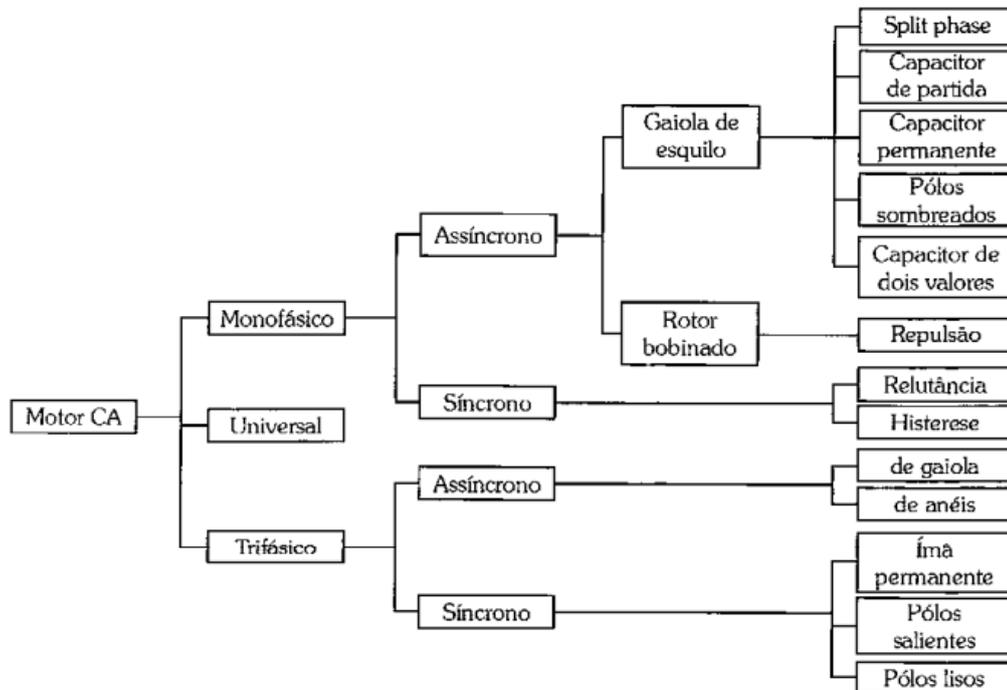
Figura 9: Tipos de Motores CC.



Fonte: FRANCHI, 2008.

Apesar da utilidade dos motores de corrente contínua tem, a indústria foi tomada pela utilização de motores de indução, utilizando-se corrente alternada, foi possível desenvolver diversos diferentes tipos de motores. Classificados geralmente entre síncronos e assíncronos, podendo ser monofásicos ou trifásicos, possuindo todos o mesmo princípio de funcionamento. Os motores CA apresentam características excelentes para a operação a velocidades constantes podem proporcionar um funcionamento livre de defeitos durante períodos bastante longos (PINHEIRO, 2007).

Figura 10: Tipos de motores CA.



Fonte: FRANCHI, 2008.

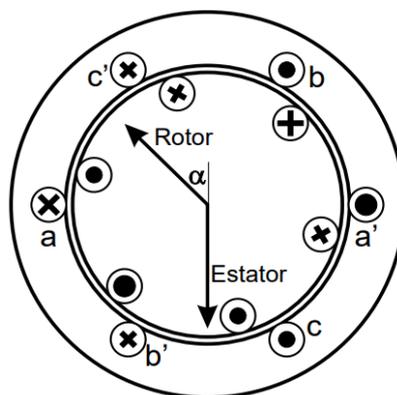
O motor de indução tornou-se no tipo mais usado na indústria, porque a maioria dos sistemas atuais de distribuição de energia elétrica é de corrente alternada, o rendimento é

elevado para médias e máximas cargas, e pode-se assegurar um bom fator de potência com uma seleção correta (FRANCHI, 2008). Motores de indução por outro são de longe os mais utilizados em aplicações industriais, por possuir uma fácil construção, uma longa vida útil, fácil manutenção, preço de compra competitivo no mercado, proporciona uma carga equilibrada entre outras funções.

Mais especificamente, esses seriam os motores assíncronos, os quais possuem a velocidade de seu eixo levemente atrasada, tornando-o não proporcional a frequência de alimentação. Em caso da necessidade de um motor síncrono, é preciso de um motor muitas vezes bem mais caro e robusto, por esse motivo, geralmente é pouco usado em aplicações industriais.

Ao contrário dos motores CC, o campo magnético da máquina trifásica é resultado da combinação três fases aplicadas nas espiras do estator da máquina, das quais, gerarão um campo magnético girante resultante. O Rotor, popularmente conhecido como gaiola de esquilo, quando curto-circuitado e sob influência do campo magnético girante do estator, é gerado uma força eletromotriz que causará circulação de corrente elétrica, gerando assim um campo magnético que tentará se alinhar com o campo do estator. Esse fenômeno de indução causa o movimento, que será a potência mecânica útil no eixo, possuindo perdas bem maiores que nos transformadores, justamente por conta dos movimentos mecânicos, existem perdas joule no estator e no rotor, perdas no ferro.

Figura 11: Campo magnético do Estator e do Rotor.



Fonte: FRANCHI, 2008.

Quando os campos magnéticos do rotor e estator se alinham e atingem a mesma frequência, por falta de variação do campo magnético no rotor, é gerado o fenômeno do escorregamento, onde o efeito eletromotriz deixa de atuar, causando esse atraso periódico na velocidade do motor, impedindo que seja exatamente proporcional a frequência da rede, exemplificado na

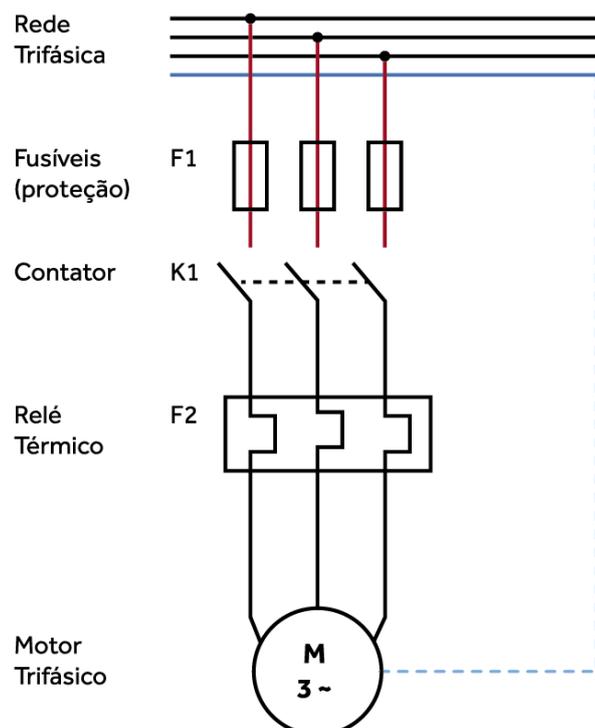
figura 11. No caso dos motores monofásicos, por conta de o motor não possuir torque para romper a inércia por si só, é necessário a utilização de bobinas ou capacitores durante a partida. Cada motor possui seu fator de escorregamento catalogado por meio de seus aspectos construtivos e testes de controle de qualidade.

## 2.4 Partida de motores elétricos

Devido a grande quantidade de enrolamentos, o efeito de indução magnética eleva a corrente do motor a níveis anormais durante o transitório da partida da chave. Por conta disso, se tornou vital, não só uma construção eficiente dos motores para evitar a elevação da corrente, mas também a necessidade de se criar diversas manobras e a produção de novos equipamentos que colocassem a magnitude da corrente de partida em níveis aceitáveis.

A partida do motor é caracterizada pelo tempo em que o motor elétrico leva para chegar em sua rotação nominal dependendo de sua carga, atualmente existem diversas maneiras de se partir um motor, dentre elas a mais simples e a mais utilizada é a partida direta e relacionada a ela está a partida em cadeia. A partida direta consiste em alimentar as bobinas do motor diretamente com a tensão da rede, tendo apenas um dispositivo de interruptor para tal ligação, como o ilustrado na figura 12.

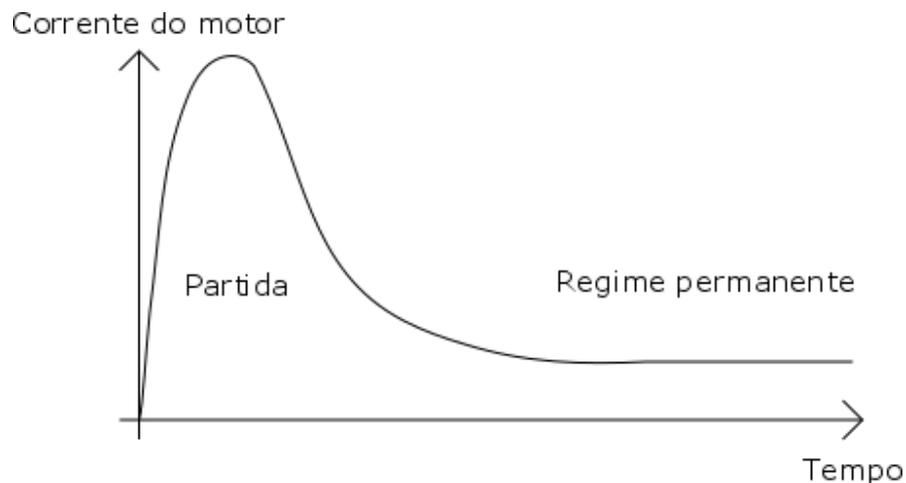
Figura 12: Diagrama Partida Direta.



Fonte: FRANCHI, 2008.

A resposta do motor a esse tipo de ligação é a máxima corrente de a partida, chegando a ser até 8 vezes, maior que a nominal em magnitude, assim como a figura 13 mostra, e tendo registros mais altos em motores antigos. Essa corrente é a energia que o motor precisa para magnetizar os seus enrolamentos permitindo assim a conversão da eletricidade em movimento, por conta disso, é sempre necessária mais energia no início do processo do que para apenas mantê-lo.

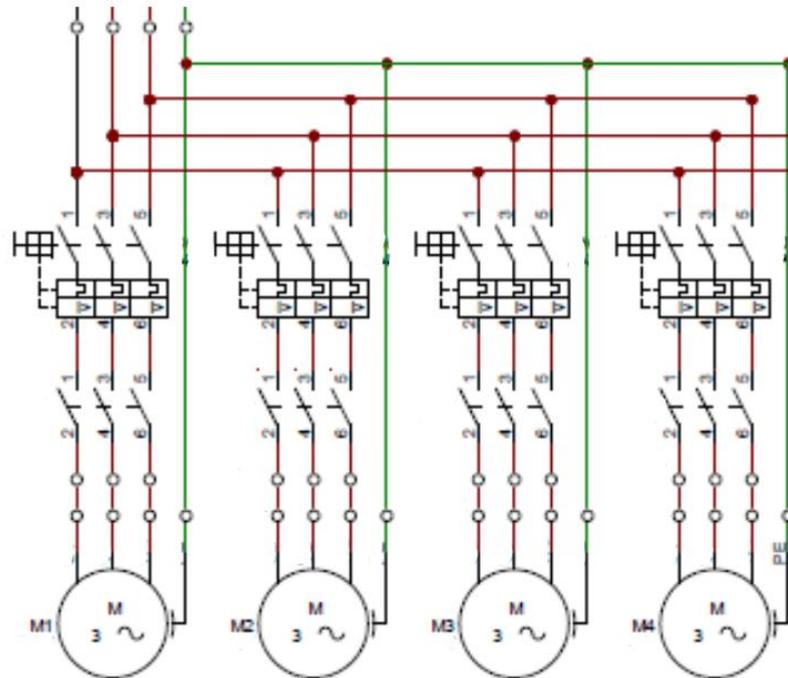
Figura 13: Gráfico da Corrente de Partida Direta.



Fonte: ENTRAN.

Mesmo sendo por pouco tempo, corrente elétrica produzida nessa partida não é ideal para o sistema, cada partida de motor feita rapidamente causará uma corrente acumulada, podendo danificar equipamentos, cabos e conexões. Essa situação hipotética da necessidade de ligar vários motores ao mesmo tempo em partida direta, requereria no mínimo um dimensionamento prévio das instalações o que ainda assim não seria ideal. Foi assim que entrou a partida em cadeia de motores, ela consiste em esperar o tempo de estabilização de cada motor, antes do acionamento do próximo, seja por meio de temporizadores ou por acionamento manual com bloqueio temporizado. Na utilização da partida direta em cadeia, o sistema precisa apenas suportar a corrente de partida do motor com maior potência mais a corrente nominal de todos os outros motores, gerando economia na infraestrutura e no planejamento do sistema.

Figura 14: Diagrama de Motores em Cadeia.

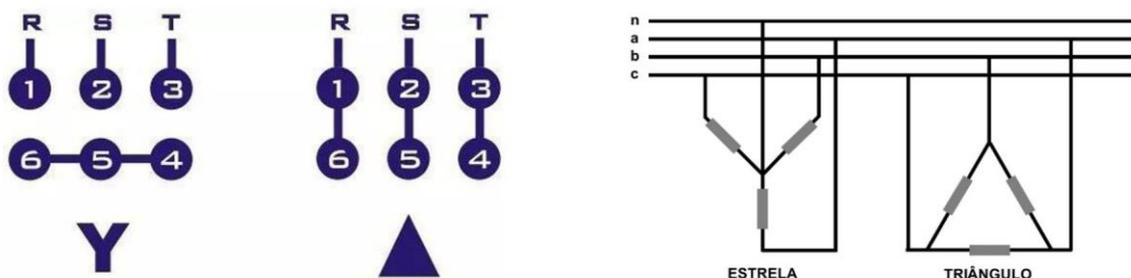


Fonte: Software CadSimu do autor.

Contudo, a partida de cada motor individualmente em certo intervalo apesar de prática, é certamente algo inviável para indústrias de médio a grande porte. Dessa maneira, foram desenvolvidas partidas que realmente diminuem a corrente de partida de maneiras bem engenhosas. Uma delas é a partida Estrela Triângulo, em sua execução o motor é alimentado com uma redução de tensão nas bobinas durante sua partida.

Existem duas ligações que são utilizadas, principalmente quando falamos de indústria e ligações para motores, a chamada de Y ou Estrela e a chamada Delta ou Triângulo, ambas possuem aplicações específicas quando se tratando de motores. Porém quando se trata da partida de motores ela se resume a ligação utilizada nas bobinas do estator do motor. Para isso, é necessário que o motor possua 6 terminais acessíveis. A figura 15 apresenta as bobinas do motor e a ligação com a rede.

Figura 15: Ligação das bobinas do motor.



Fonte: Datasheet LOMBARD.

Por meio dessas ligações, é possível se encontrar as relações das correntes de partida direta com partida reduzida pela chave estrela triângulo. Segue na figura 16 essas relações:

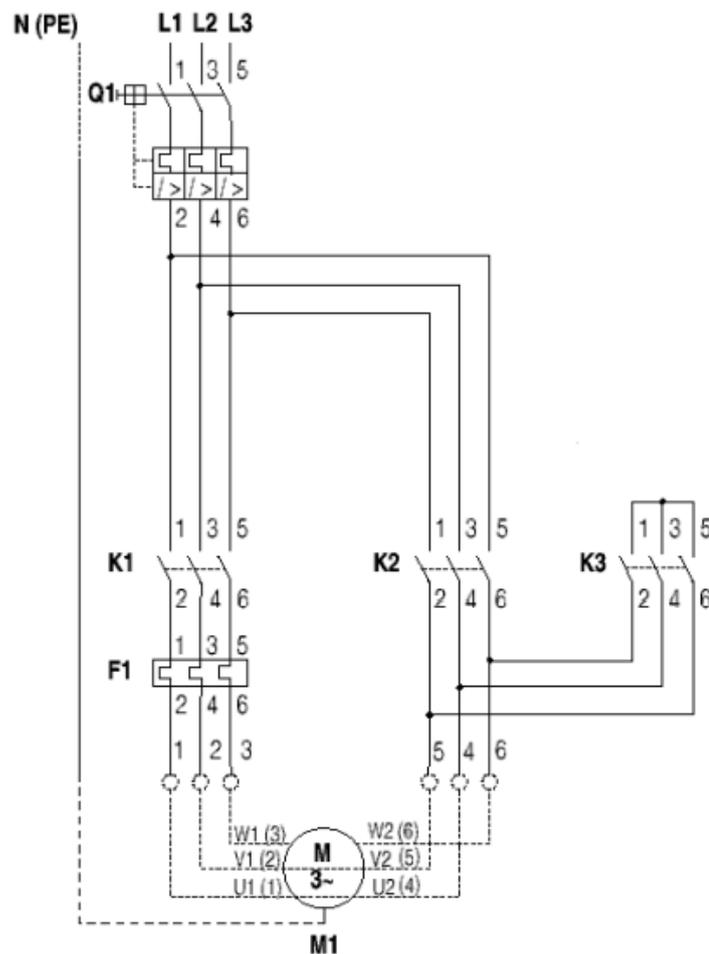
Figura 16: Corrente de Partida - Ligação Estrela.

$$V_y = V_{\Delta} / \sqrt{3} \rightarrow I_L / \sqrt{3} = I_f / \sqrt{3} / \sqrt{3} = I_f / 3$$

Fonte: Autor.

Isso permite que a ocorrência de partida seja reduzida em até dois terços da original e também proporciona uma partida mecanicamente mais suave para o motor, tendo apenas um terço do torque de partida direta.

Figura 17: Diagrama de partida Estrela-Triângulo.



Fonte: SILVA, 2016.

Analisando a figura 17, é perceptível a fácil implementação, precisando apenas de três chaves seccionadoras para ser efetuado, todas podendo ser automatizadas de alguma maneira.

Contudo, ela necessariamente depende da tensão da rede, tendo apenas uma alternativa de torque e tensão. Foram desenvolvidas diversas partidas de motores com o tempo, porém a partida a autotransformador pode ser dita como a mais próxima de uma evolução da estrela triângulo.

## 2.5 Partida a Autotransformador

Também conhecida como partida com chave compensadora, tendo como novidade um autotransformador. Assim como na partida estrela triângulo, o autotrafo possui muitas características interessante, ele é uma opção mais barata que o transformador normal por conta do simples método de construção, não possuindo uma isolação galvânica o que permite utilizar o potencial elétrico com o potencial magnético para uma conversão mais eficiente de energia. Contudo, ele possui uma vantagem superior a partida estrela triângulo, o autotransformador permite um ajuste de tensão de acordo com a necessidade por meio de seu Tap. Por conta disso é possível fazer ajustes no torque de partida e na corrente de partida apenas controlando a relação de transformação através do Tap do equipamento.

A corrente de partida por meio de um transformador é dada pela seguinte equação na figura 18:

Figura 18: Corrente de Partida a autotransformador.

$$I_P (\text{auto}) = I_P \times K^2$$

Fonte: FRANCHI, 2008.

Sendo a nova corrente de partida diretamente proporcional ao quadrado da relação do TAP, é possível ter reduções bem maiores dependendo de sua necessidade. O conjugado de partido do motor também segue tendo uma proporção parecida, tendo sua redução também proporcional ao quadrado da relação do TAP. A tabela 1 exemplifica esses dados com diferentes níveis do TAP.

Tabela 1: Relação da Redução da Corrente e do Torque.

Fonte: Autor.

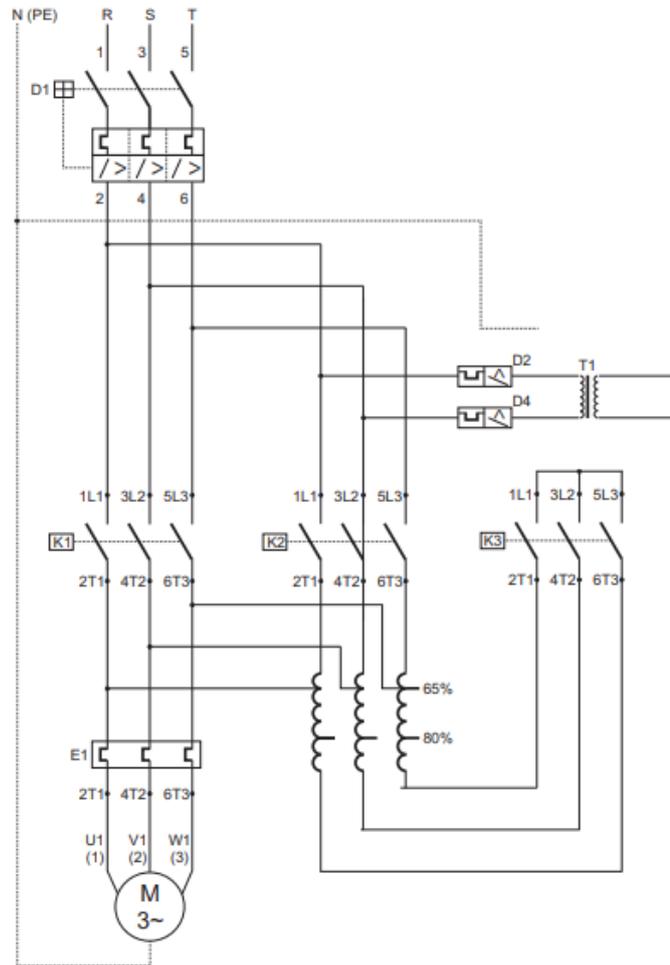
<b>TAP do transformador (%)</b>	<b>Fator de redução (K<sup>2</sup>)</b>	<b>Corrente de partida (Ip)</b>	<b>Torque de Partida (Tp)</b>
<b>85</b>	0,7225	(Ip)x0,7225	(Tp)x0,7225
<b>80</b>	0,64	(Ip)x0,64	(Tp)x0,64
<b>65</b>	0,4225	(Ip)x0,4225	(Tp)x0,4225
<b>50</b>	0,25	(Ip)x0,25	(Tp)x0,25

De acordo com a Tabela 1, a redução da corrente de partida dos motores de indução é sempre muito desejada nas instalações industriais, contudo a queda proporcional do torque pode fazer com que alguns motores não consigam partir mesmo possuindo o suficiente para vencer a resistência da carga.

A construção do circuito de força mostrado na Figura 19 é relativamente simples assim como na chave estrela triangulo, necessitando como na anterior apenas três contatores e um autotransformador.

Essa partida necessita ter acesso apenas a 3 entradas do motor e apesar de ser vantajosa em relação a estrela triangulo, possui limite de manobras por conta do aquecimento do autotrafo, ocupa mais espaço no painel por conta do autotransformador. Hoje em dia ainda se utiliza ainda com muita frequência esta alternativa, apesar das novas tecnologias como soft-starter e inversores de frequência.

Figura 19: Diagrama de Força Partida a Autotransformador.

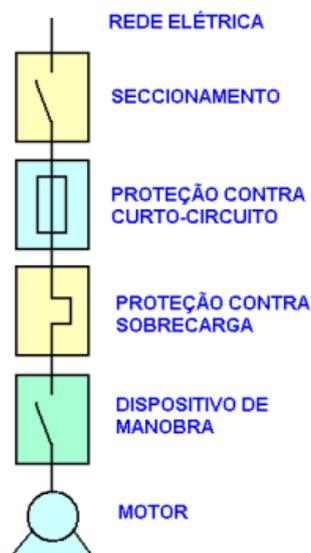


Fonte: datasheet LOMBARD.

## 2.6 Quadros de Comandos Elétricos

Quadros de comandos elétricos geralmente são diretamente relacionados ao acionamento e controle de equipamentos elétricos industriais, tendo também aplicação residencial, de diversas naturezas, como por exemplo grandes sistemas de iluminação, sistemas de refrigeração, sistemas de aquecimento. Contudo a grande maioria está relacionada ao acionamento de motores elétricos, utilizando-se de dispositivos de seccionamento, manobra, temporização e proteção, é criado o quadro de acordo com sua necessidade. De acordo com Prof. Marcelo Eurípedes da Silva (2006), um dos pontos fundamentais para o entendimento dos comandos elétricos é a noção de que “os objetivos principais dos elementos em um painel elétrico são: a) proteger o operador e b) propiciar uma lógica de comando”.

Figura 20: Esquema de Ligação Genérico.



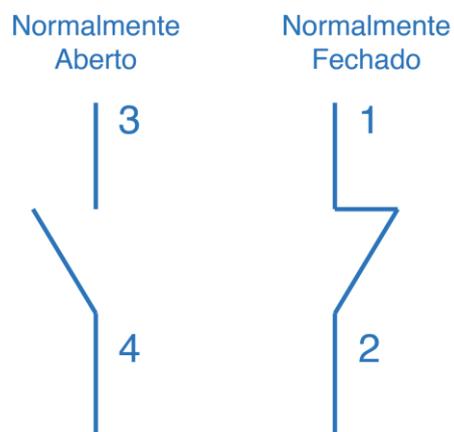
Fonte: SILVA, 2006.

Ilustrado na figura 20 está destacada a área de atuação de um quadro de força com onde possui seu equipamento, para seccionamento temos as chaves seccionadoras, permite o circuito ser completamente desligado do circuito de alimentação em caso de manutenção. Para proteção contra curto-circuito temos os fusíveis e disjuntores, permitindo que o circuito de alimentação seja desligado no antes que o evento cause danos aos condutores e equipamentos. Para proteção contra sobrecarga também é possível encontrar disjuntores e relés térmicos ou de sobrecarga, podendo evitar o sobre aquecimento da carga ao fazer o seccionamento do circuito. Para os dispositivos de manobra existem os contatores de carga, os contatores auxiliares, esses permitem a comutação de correntes elevadas presentes na partida dos motores.

Em qualquer sistema elétrico avaliado, o principal objetivo da proteção é torná-lo capaz de oferecer um serviço cada vez mais contínuo, mais confiável, a um custo cada vez menor e com segurança, ou seja, sempre obedecendo às normas dos órgãos que regulam o setor elétrico brasileiro e internacional (RODRIGUES, 2013). É fundamental afirmar a importância dos circuitos de proteção pois eles permitem, por própria natureza, acidentes em que poderiam haver desde perdas de equipamentos até mesmo o risco da vida humana, equipamentos como os disjuntores, relés, fusíveis, permitem essa confiabilidade de proteção. Porém ressaltando que a utilidade do equipamento depende de sua aplicação, como por exemplo os relés temporizadores que permitem o acionamento e o desligamento programável de uma parte ou chave do circuito, mesmo sendo muito incluído no processo de comando, é visto como um equipamento de proteção.

De forma similar ou até primitiva aos computadores, os comandos elétricos seguem um princípio binário para elaboração de suas lógicas de programação. De acordo com Claiton Moro Franchi (2008), os equipamentos de manobra como os contatores de potência e os contatores auxiliares, quando estão desligadas a posição de seus contatos ganham a denominação de “normalmente aberto” se estão abertos e “normalmente fechado” se está fechado, e um contator geralmente possui ambos os casos. Compreender como se utilizar isso é fundamental para qualquer lógica de programação permitindo basicamente construir acionamentos automáticos de motores em cadeias. A figura 21 ilustra essa ideia:

Figura 21: Exemplo em Diagrama dos Contatos.



Fonte: Autor.

Tendo em vista que existem contatores com inúmeros contatos, é possível utilizar-se dessa lógica para sinalização de um motor ligado ou desligado, uma sirene de aviso durante alguma falta devida à sobretensão e várias outras utilidades. É importante ressaltar que por natureza desses equipamentos secundários, o quadro de comandos geralmente possui mais de um nível de tensão para seus equipamentos, tendo os contatores funcionando com tensão alternada da rede, já outros como os relés funcionando entre 5 a 24 volts de tensão contínua. Essa divisão entre circuito de comando com tensão baixa e circuito de potência para os motores é de suma importância para o entendimento dos quadros de comando.

## 2.7 Controlador Lógico Programável

O Controlador Lógico Programável ou CLP, é um equipamento com inúmeras aplicações e é principalmente usado nas indústrias. Seu objetivo é fazer o controle de equipamentos por meio de uma programação definida por alguma lógica interna definida dentro do próprio CLP, podendo ser alterada para qualquer aplicação necessária. Isso permite que seja usado no controle e monitoramento de processos como, bombas d’água entre outros.

Em 1978 a NEMA (*National Electrical Manufacturers Association*) definiu o CLP como, “aparelho eletrônico digital que utiliza uma memória programável para o armazenamento interno de instruções para implementações específicas, tais como lógica, sequenciamento, temporização, contagem e aritmética, para controlar por meio de módulos de entrada e saída vários tipos de máquinas e processos”. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) também criou uma definição do que seria um CLP, é um “equipamento eletrônico digital com hardware e software compatíveis com aplicações industriais”

Figura 22: Exemplo de um CLP Weg Plc300 Hp-h3.



Fonte: Site WEG.

No início o CLP substituiria os relés recebendo sinais de controle de dispositivos de entrada como chaves fim de curso, teclas ou até chaves digitais, acionando então as saídas de acordo com o programa especificado pelo usuário, armazenado em sua memória, a fim de partir válvulas solenoides, motores sequencialmente ou alarmes (ALVES, 2005). E através do surgimento de novas tecnologias, o CLP como o mostrados na imagem 22 sofreu atualizações permitindo que ele simulasse novos equipamentos como os relés temporizadores, contadores, coletando dados e até mesmo com base na saída do sistema fazer ajustes em tempo real para melhor estabilidade do processo.

Desde modo, para se entender melhor o CLP, é possível analisar em três partes, as entradas, o processador e as saídas. As entradas correspondem ao meio físico de inserção dados na memória interna do CLP, podem ser digitais ou analógicas. Tendo recebido os dados de entrada, o processador irá fazer a execução do programa do CLP, fazendo a atualização das saídas de acordo com sua programação. E as saídas, também podendo ser digitais ou analógicas, irão realizar os acionamentos dos equipamentos de manobra, as bobinas dos contadores, a velocidade de um inversor de frequência, entre outros. Muitos CLPs, como o da imagem 23

também permitem a adição de módulos e memórias extras, expandindo as capacidades originais dele.

Os CLPs atuais utilizam-se das modernas tecnologias, que além de atender as programações dos mais diversos circuitos lógicos, temporizações, contagem, comparações, possuem a capacidades de realizar as operações aritméticas e qualquer parâmetro físico, químico ou mesmo elétrico que altere no tempo é passível o seu monitoramento e intervenção, através das entradas analógicas de tensão ou de corrente, conectadas em rede e finalmente ainda é passível de se comunicar via sistemas supervisórios.

Figura 23: Exemplo da edição de módulos.



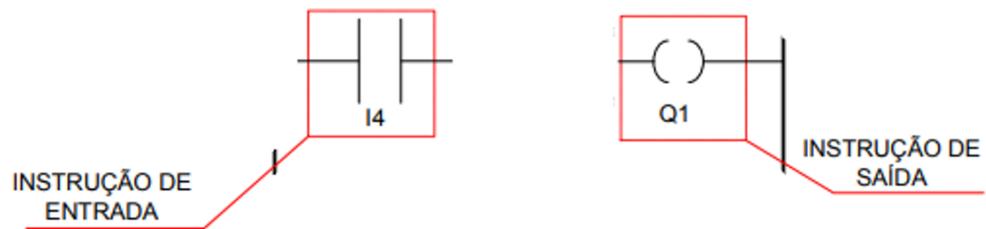
Fonte: Autor

## 2.8 Linguagem de Programação do CLP

Existem 5 linguagens especializadas para a programação do CLP, divididos entre programação gráfica e programação textual. Dentre essas, a primeira e a mais antiga, se destaca a logica Ladder, sendo ela uma linguagem programação gráfica.

Essa é uma linguagem gráfica baseada em símbolos semelhantes aos contatos de relés e bobinas nos esquemas elétricos. Por sua semelhança com sistemas de controle a relés é a linguagem de programação muito utilizada para programação de CLPs (SOUZA, 2006). Ou seja, ele foi criado na tentativa de se aproximar a programação com a lógica dos comandos elétricos, permitindo que exista de maneira mais fácil uma visualização do circuito através da programação do CLP. Na figura 24 segue os exemplos dos comandos em *Ladder* comparados com sua representação nos diagramas de comando:

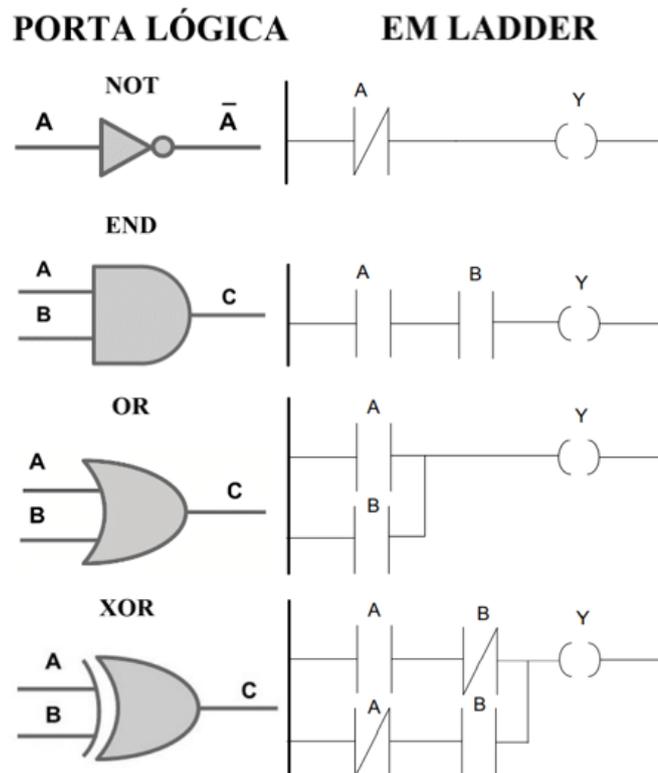
Figura 24: Blocos em Ladder.



Fonte: SOUZA, 2006.

Ela segue a linha de raciocínio dos circuitos elétricos, em que o objetivo é criar um circuito fechado para acionar a instrução de saída, gerando em si uma resposta na saída do CLP. Em virtude da facilidade na utilização da linguagem *Ladder* ela é encontrada na maioria dos CLPs modernos. Já na figura 25, temos exemplos da lógica de programação Ladder.

Figura 25: Comparação de Portas Lógicas em Ladder.



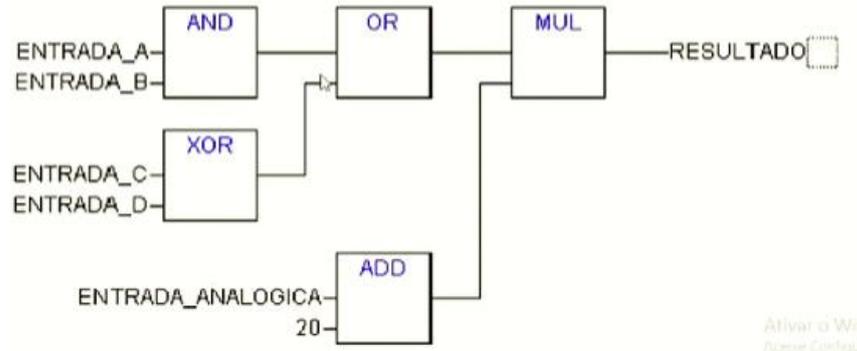
Fonte: Autor.

Com esses blocos é possível criar várias portas lógicas como, porta NOT, END, OR, XOR e entre outros, sendo bem fáceis de se comparar com os desenhos de portas lógicas, assim como está exemplificado na figura 25.

Além da linguagem *Ladder*, temos os Diagramas de Blocos Funcionais, ela também é uma linguagem gráfica e conta com blocos pré-programados como objetos na

montagem do circuito, gerando algo semelhante ou um diagrama de blocos com portas lógicas. A imagem 26 mostra um exemplo:

Figura 26: Diagrama de Blocos funcionais.



Fonte: GOMES, 2022.

Outra linguagem é o sequenciamento gráfico de funções ou SFC (*Sequential function chart*), ela permite a descrição das ações sequenciais paralelas e alternativas que fazem parte de um determinado sistema de controle. Ele possibilita a implementação de testes condicionais dentro de seu programa,

O SFC é elaborado com blocos funcionais dispostos como um fluxograma, possibilitando a confecção e o estudo dos processos por meio de ações e transições que devem ocorrer. Isso permite que um processo seja aberto ao menor nível de análise até que se tenha o modelo desejado mapeado em detalhes (PAREDES e GOMES, 2011).

As duas últimas programações são completamente a base de textos. A linguagem de Texto Estruturado, ou STL, permite que o usuário faça uma programação baseada na linguagem Pascal, ou linguagem C, possuindo suas funções lógicas como, *If, Else, While, For, Do, Case*, etc, tornando-a uma língua de alto nível. Já a Lista de Instruções é uma programação sequencial, inspirada no *Assemble*, permite de maneira mais trabalhosa o detalhamento de cada etapa função, já que ela faz a leitura de uma linha de código por vez. São tipos de programação antigas e versáteis que permitem um profissional de computação exercer as mesmas funções de um engenheiro com conhecimento profundo na área de automação.

## 2.9 Supervisório

Sistemas de Supervisão e Aquisição de Dados, proveniente do seu nome em inglês *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA), também chamado de programa supervisório ou software SCADA, são sistemas que utilizam programas para monitorar e supervisionar as variáveis e os dispositivos de sistemas de controle conectados por meio de servidores/drivers de comunicação específicos (FERREIRA, 2019).

São muito utilizados em grandes indústrias modernas com o intuito de facilitar a interação homem máquina do CLP. Sendo capaz de comunicação com os CLPs a longas distâncias através do serviço Ethernet, cria uma separação do ambiente de risco das máquinas e o escritório de controle.

Suas primeiras versões possuíam a capacidade de atualizar o status do sistema apenas algumas vezes e também possuíam sistemas menos sofisticados para indicar grandezas de medidas, sem ter nenhuma interface real. Com a modernização das tecnologias agora temos respostas em tempo real munidas de sistemas de medidas precisos dos quais podem ser apresentados em diversas telas por meio de um computador.

Esse tipo de sistema dá entendimento do processo a ser automatizado, de analisar o processo detalhadamente, dividi-lo em etapas. É necessário que sejam escolhidos com cuidado a quantidades de variáveis pois quanto maior forem, maior será o uso dos hardwares, podendo sobrecarregar o sistema.

Esse tipo de software também permite de forma livre a configuração de dados apresentados na tela, podendo todos eles serem criados a partir de imagens editadas ou até mesmo reais, reforçando o quanto o processo de criação de um supervisório pode ser tão longo quanto o próprio sistema físico em si, dependendo apenas das capacidades dos desenvolvedores.

### **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

#### **3.1 Programação do CLP**

Para o desenvolvimento do projeto foi escolhido e disponibilizado pelo laboratório de instalações elétricas industriais o CLP ATOS da linha MPC4004G. Com Interfaces Homem Máquina (IHM). A interface IHM permite o controle do CLP por meio de teclas, LCD (*Liquid Crystal Display*), gerenciadas pelo processador principal, sem usar instruções de Ladder. Figura 27, CLP disponibilizado pela UFMT.

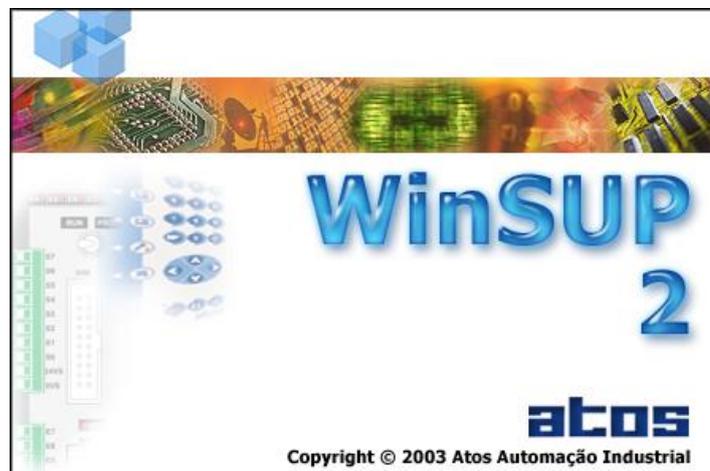
Figura 27: ATOS 4004G92SC - IHM 4x20 LCD display de dígito grande 9x5mm.



Fonte: Laboratório 103 UFMT.

Para fazer a sua programação foi utilizado o Software *WinSUP2*, fornecido pela empresa Atos Automação Industrial LTDA, adquirida pela Schneider Electric, para interagir especificamente com o CLP e o IHM.

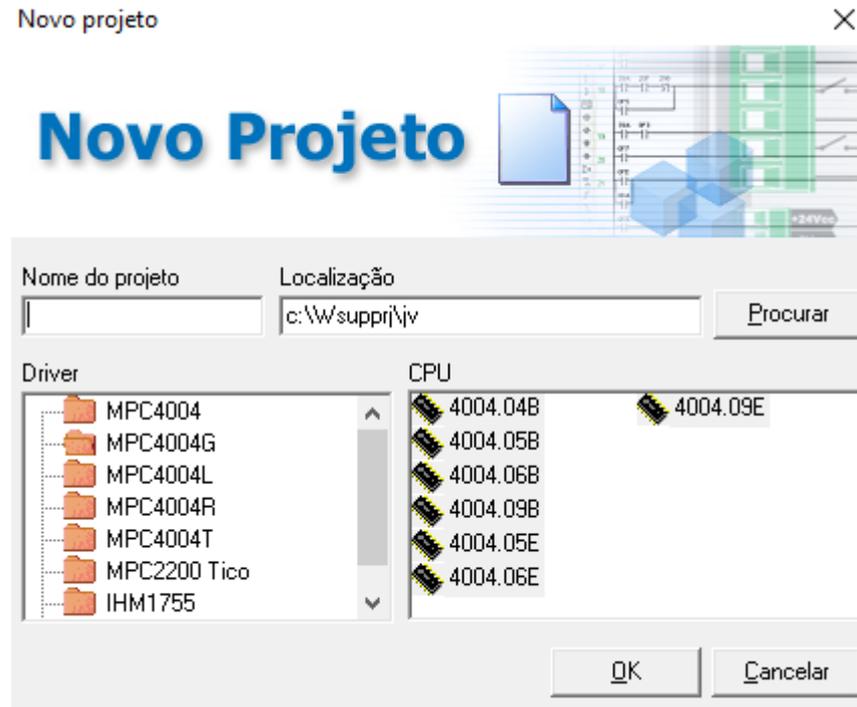
Figura 28: Janela de entrada do Software WinSUP2.



Fonte: Autor.

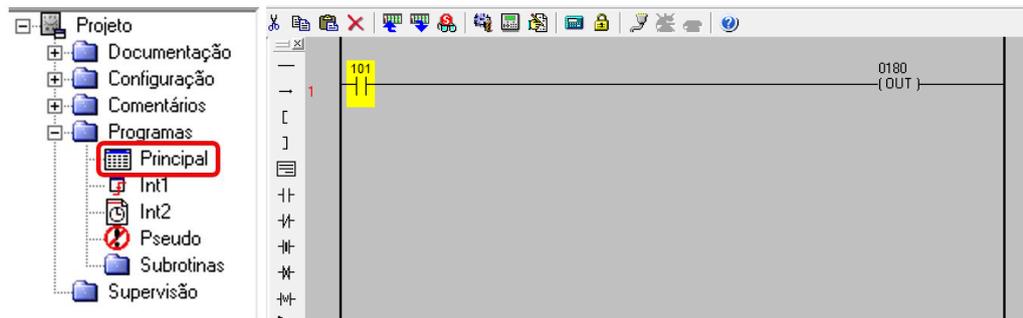
Esse software mostrado nas figuras 28, 29, 30, e 31 permite a comunicação com diversos modelos das linhas ATOS, em um ambiente virtual para a programação em *Ladder* e configuração do IHM.

Figura 29: Tela de Produção de Novo Projeto.



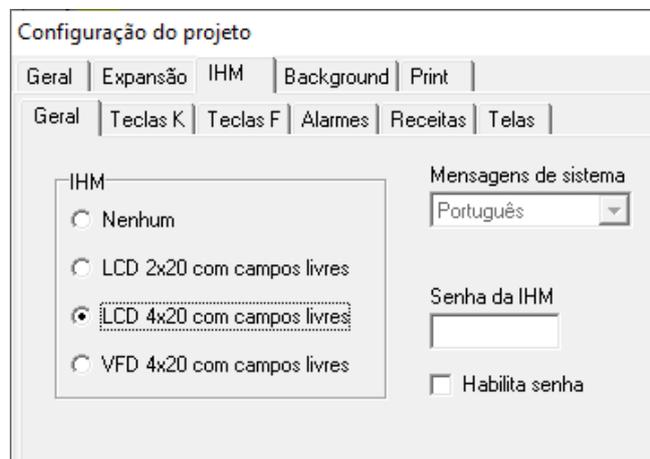
Fonte: Autor.

Figura 30: Ambiente de Programação.



Fonte: Autor.

Figura 31: Configuração do IHM.



Fonte: Autor.

Além do IHM e do *WinSUP2*, também foi utilizado o programa *Elipse Scada* para o desenvolvimento do supervisor do programa do CLP. Esse software permite a conexão com o CLP a distâncias por meio de conexões de rede, assumindo controle de suas entradas, além de ser possível desenvolver toda a parte gráfica de seu programa. A construção de animações é possível, deixando sua visualização dinâmica e todas as imagens podem ser de escolha do desenvolvedor, sendo que devem ser inseridas e configuradas para terem o comportamento de acordo com o circuito original.

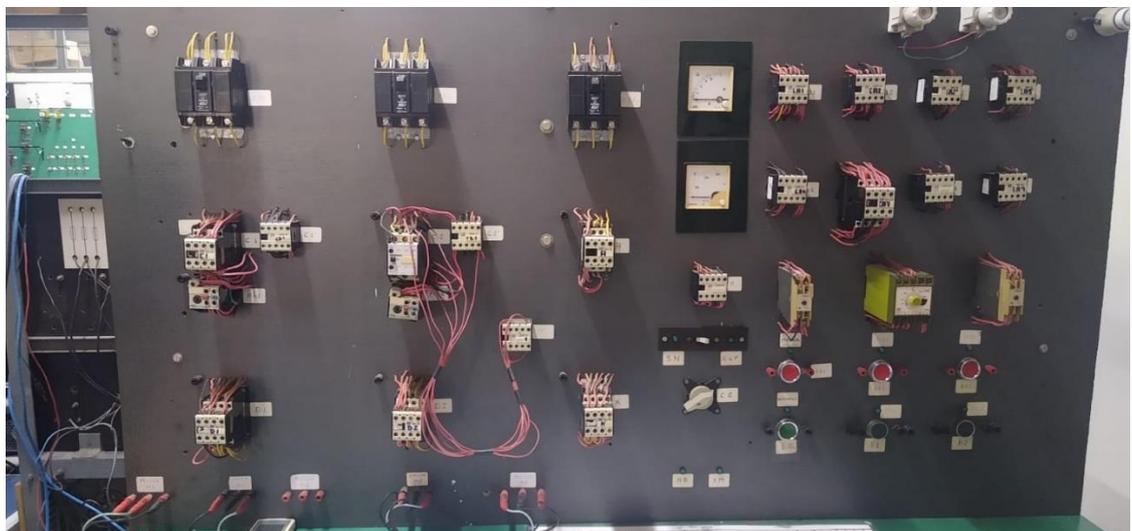
Com ele é possível criar diversas Tags que representarão saídas ou entradas de dados para que através da tela que será configurada, seja configurado da maneira mais didática possível o processo visual das partidas dos motores elétricos. O software permite criar inúmeras animações que deixam o processo bem mais fácil de ser visualizado e compreendido do que através apenas do CLP.

### 3.2 Funcionamento do Módulo para o CLP

O CLP do laboratório originalmente funciona para acionamento de 8 chaves para conteúdos didáticos em outro módulo e será utilizado para a demonstração dessa alternativa.

O laboratório já possui o painel de acionamento convencional dos dois motores com partida a autotransformador, as imagens 32, 33 e 34 mostram os componentes desse painel didático. Esse painel servirá de base para a programação do CLP, servindo como partida alternativa. No planejamento original do painel foi previsto a inserção futura de um CLP justamente para essa demonstração.

Figura 32: Foto do Painel do Laboratório.



Fonte: Laboratório 103 UFMT.

Figura 33: Foto dos Motores.



Fonte: Laboratório 103 UFMT.

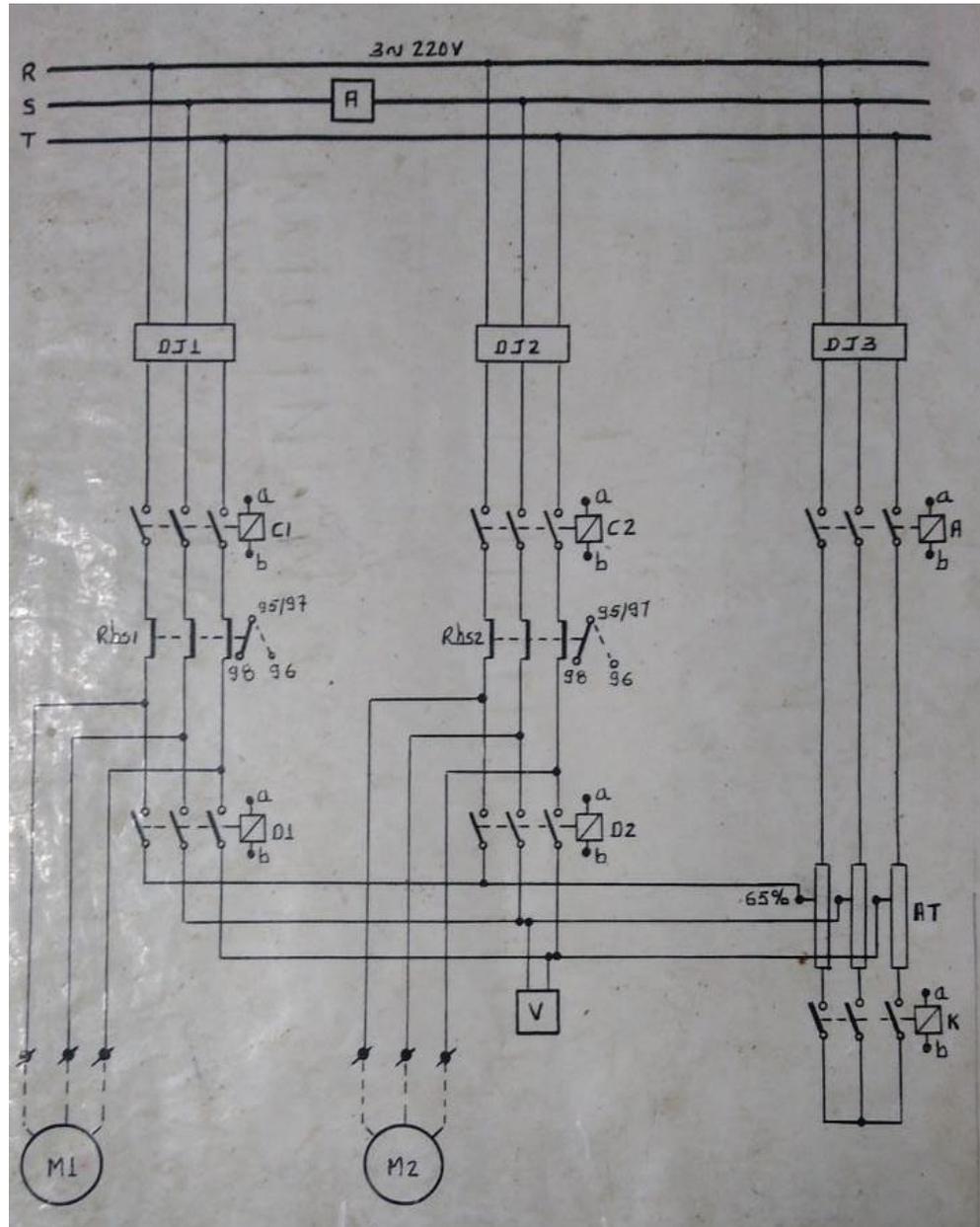
Figura 34: Foto do Autotransformador.



Fonte: Laboratório 103 UFMT.

O primeiro passo foi compreender o funcionamento do painel. O diagrama de força possui 6 contadores, sendo 2 deles destinados a energizar o autotrafo, 2 para ligar os motores com a tensão reduzida do autotrafo e 2 para energizar com a tensão nominal da rede. Além disso possui as proteções usuais para o funcionamento seguro de motores elétricos, é possível ver as conexões e componentes utilizados nos diagramas das figuras 35 e 38.

Figura 35: Diagrama de Força da partida de 2 Motores Via Autotransformador.



Fonte: Laboratório 103 UFMT.

Analisando os diagramas e o painel em funcionamento é possível perceber a necessidade de ligar 6 bobinas, ou seja, 6 saídas do CLP serão utilizadas. Este CLP da ATOS é equipado com 8 saídas digitais, elas correspondem aos símbolos S0 até S7 e em *Ladder* correspondem saídas 180 até 187 da memória, permitindo dar continuidade a sua utilização. Como é um

equipamento um pouco antigo, foi constatado que a primeira saída S1, 180, não estava funcionando, porém não afetou a confecção do programa.

O modulo também contém 6 botões destinados aos diferentes acionamentos e estes estão divididos em dois grupos, acionamento manual e automático. O manual possui 2 botões para iniciar a partida de cada motor e dois para o desligamento dos mesmos. O automático possui um botão para ativar e desativar este modo. Portanto, foi possível analisar para replicar através do CLP seria necessário no mínimo 6 entradas de dados, o CLP da ATOS utilizado possui 8 entradas digitais nomeadas de E100 até E107, tendo o mesmo código na memória de programação, entre 100 e 107, essas entradas são em formato de chave, então estarão sempre ligadas ou desligadas até que seu estado se altere.

Figura 36: Entradas Digitais do CLP ATOS.



Fonte: Laboratório 103 UFMT.

Foi possível verificar que as entradas E106 e E107 não estão funcionando e que E105 está com algum tipo de mal contato em indeterminados momentos. Apesar de ser uma limitação, não afetou o desenvolvimento do esquema proposto pois além dessas entradas para o usuário, o IHM possui diversos botões configuráveis para implementação de entradas, o display em o teclado mostrados na figura 37, mais especificamente as Teclas F1 a F4 e as teclas K0 até K9. A configuração do IHM é feita completamente dentro do software WinSUP2.

Figura 37: Teclado IHM.



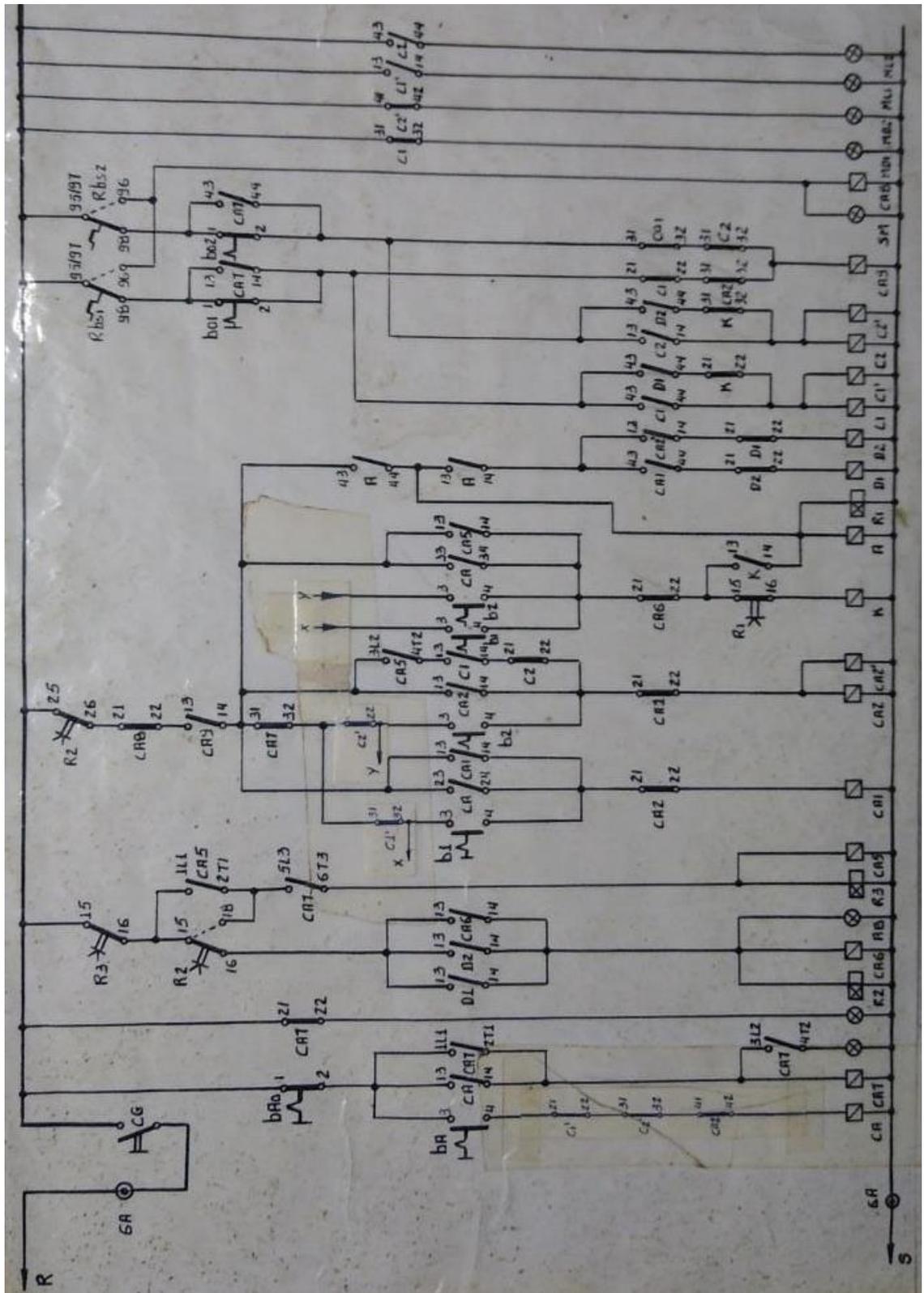
Fonte: Laboratório 103 UFMT.

Visto os dados necessários para comando através do CLP, foi preciso entender o diagrama de comando do painel, para que a lógica pudesse ser replicada no formato de programação *Ladder*. De primeira mão, é possível notar que no módulo de acionamento do laboratório que existem 2 temporizadores para manobras e 1 para o tempo de descanso do autotransformador.

Esse painel possui o seguinte funcionamento: após qualquer partida um temporizador controla o tempo de esfriamento do autotransformador para evitar danos ao equipamento, manual tem um controlador para o motor 1 e o motor 2, são independentes e não afetam um ao outro. A qualquer momento da operação manual os motores podem ser desligados. Quando o automático for ativado os comandos manuais são desconectados e automaticamente ele faz o acionamento do primeiro motor e após o segundo, sendo essa ordem sempre seguida. Por conta disso automático só pode ser ativado quando nenhum motor estiver ligado, com exceção do momento logo após ligar o motor 1.

Com essas análises de dados é possível criar e elaborar um programa em *Ladder* no CLP por intermédio do *software WinSUP2* para o controle deste módulo e o supervisor através do *software Elipse Scada*.

Figura 38: Quadro de Comandos do Pannel de Partida a Autotransformador

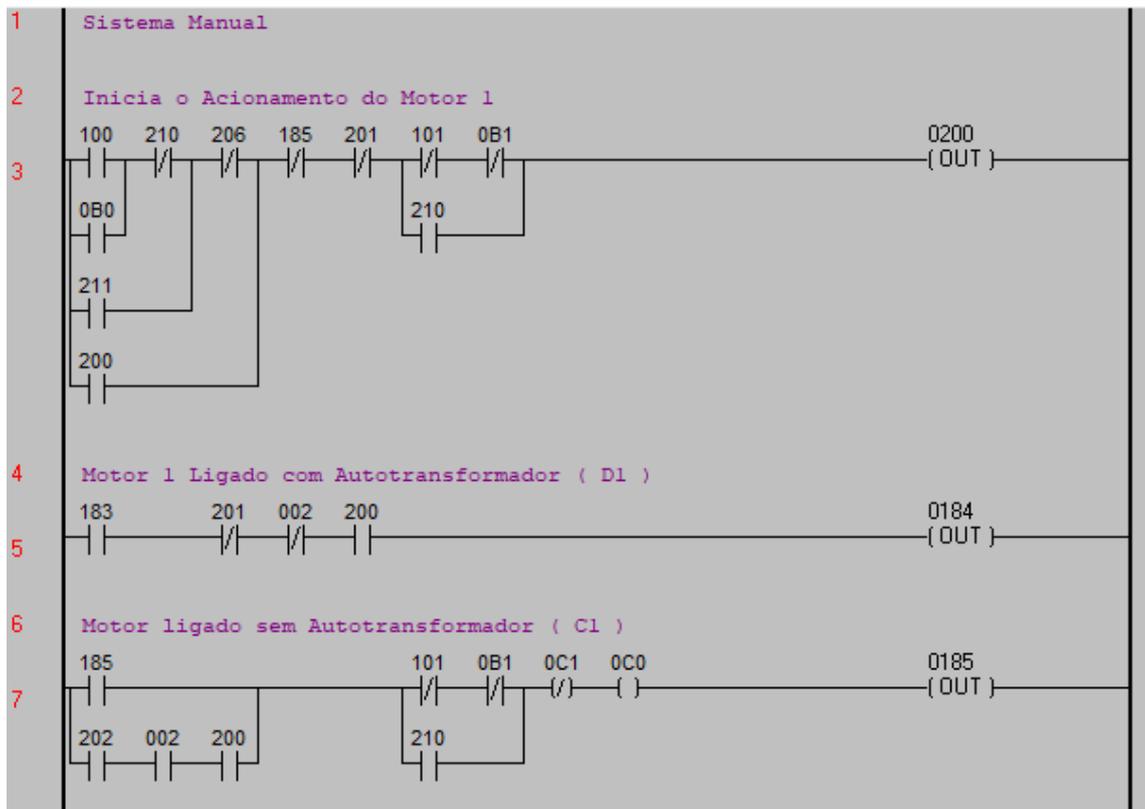


Fonte: Laboratório 103 UFMT

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

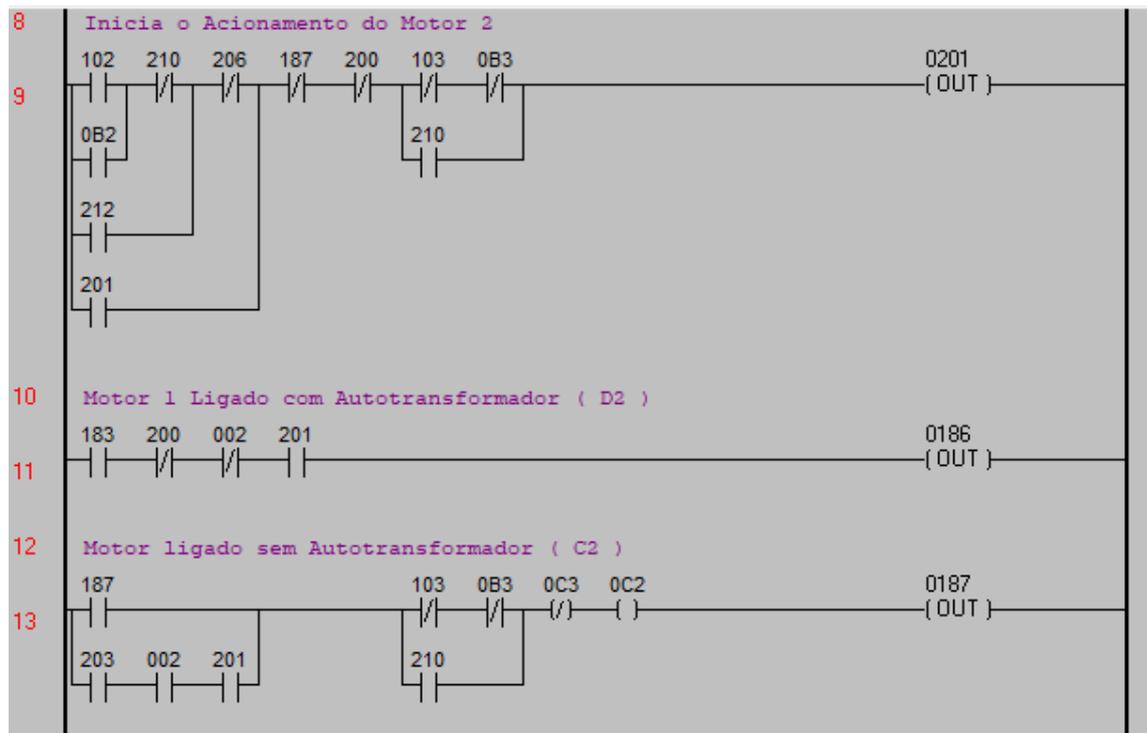
O desenvolvimento ocorreu como o planejado e não ocasionou nenhuma ressalva importante. O programa desenvolvido encontra-se nas imagens 39 e 43.

Figura 39: Parte 1 - Motor 1



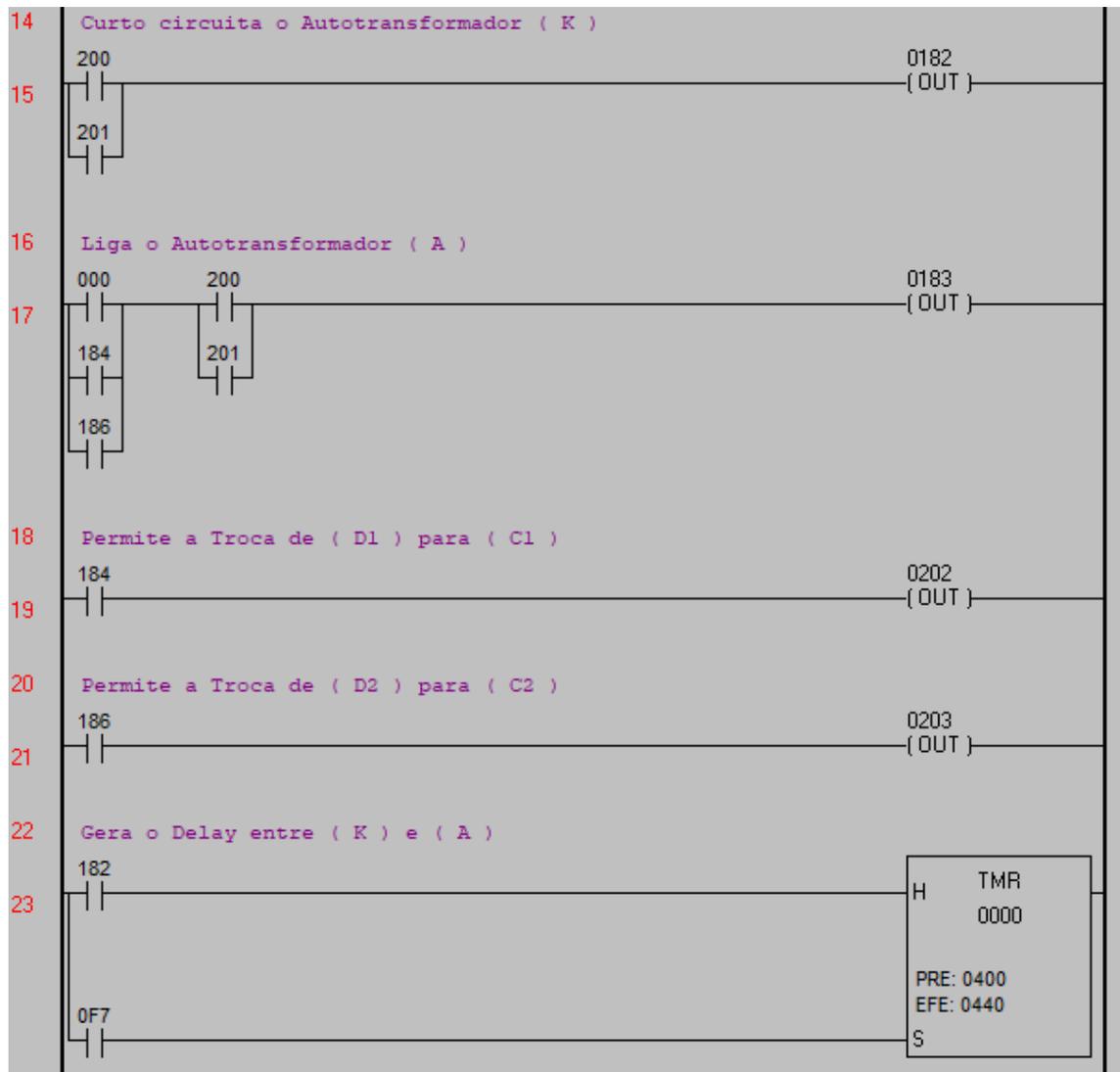
Fonte: Autor.

Figura 40: Parte 2 - Motor 2.



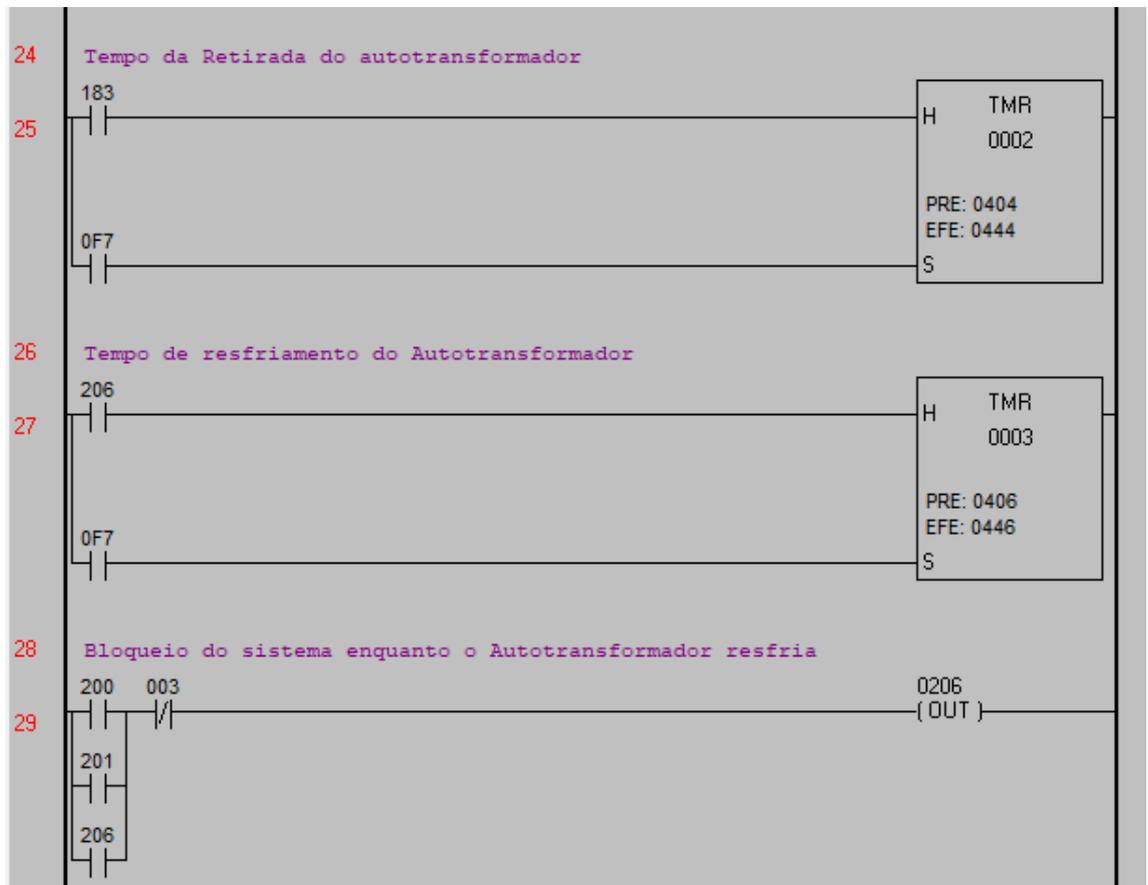
Fonte: Autor.

Figura 41: Parte3 - Controle do Autotransformador.



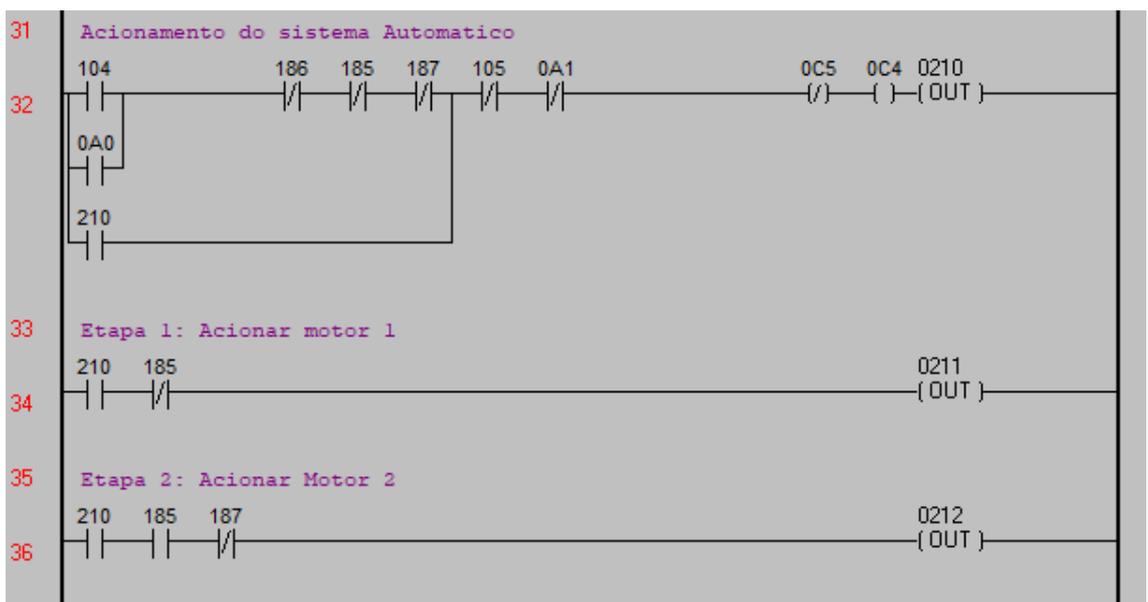
Fonte: Autor.

Figura 42: Parte 4 - Controle dos Temporizadores.



Fonte: Autor.

Figura 43: Parte 5 - Controle do Acionamento Automático.



Fonte: Autor.

Na parte 1, figura 39, estão as saídas para alimentar os contatores que vão partir o motor 1, sendo o 184 o motor ligado no autotransformador e 185 o Motor ligado com a rede. A saída 200 é um contato auxiliar que o programa permite criar para desenvolver a programação, similar os contatores auxiliares. Os contatos 100 e 0B0 são sinais de entrada para ligar o motor, como ambos tem a função no CLP, iniciar o acionamento do motor 1, estão em paralelo formando uma porta lógica OR. Da mesma forma estão as entradas 101 e 0B1 destinadas ao desligamento do motor e da partida, arranjadas em série no modelo da porta END.

Na parte 2, figura 40, estão as saídas para alimentar os contatores da que vão partir o motor 2, de maneira idêntica ao motor um somente mudando as saídas e as entradas. Estas são as saídas 186 motor ligado no autotransformador, 187 motor ligado com a rede, 201 auxiliar, 102 e 0B2 para ligar o motor 2, e 103 e 0B3 para desligar o motor 2.

Como as auxiliares 200, visto na linha 3 da figura 39, e 201, visto na linha 9 da figura 40, estão programadas para iniciar e controlar as partidas dos motores, elas possuem a maiores quantidades de impedimentos para o seu acionamento, que seriam elementos em série nas linhas, assim como maneiras alternativas de acionamento, que seriam elementos em paralelo.

Após o acionamento de algum motor através dos botões de entradas 100 e 0B0 ou 102 e 0B2, a primeira coisa que acontecerá é ao preparo do autotransformador, na figura 41 é possível ver todo o processo. A chave K, na linha 15 da figura 41, e a chave A, na linha 17 da figura 41, não são ligadas ao mesmo tempo por conta do próprio CLP, que na maioria das vezes sofre algum *bug* se possuir essas duas saídas ativadas ao mesmo tempo, o temporizador entra em cena para dar apenas 0,5 segundos para não ter esse problema.

Com o autotransformador preparado, imediatamente uma chave já faz o fechamento da saída 184, linha 5 figura 39, ou 186, linha 11 da figura 40, lembrando que apenas um motor pode estar sendo acionado ao mesmo tempo pois utilizam o mesmo autotrafo. Com isso o temporizador 2 entra em ação até a corrente de partida abaixar e assim fazer a entrada com a tensão nominal, fechando as chaves 185, linha 7 da figura 39, ou 187, linha 13 figura 40. Note que no momento que o motor e o autotransformador estão prontos a ligação do motor com a rede se torna exclusiva do temporizador 002. Nas figuras 39 e 40 nas linhas 7 e 13, possuem três elementos em paralelo, 200 ou 201 (auxiliar de acionamento), 202 ou 203 (sinalizador do motor ligado ao autotrafo) e por último, quem vai permitir o acionamento é o 002.

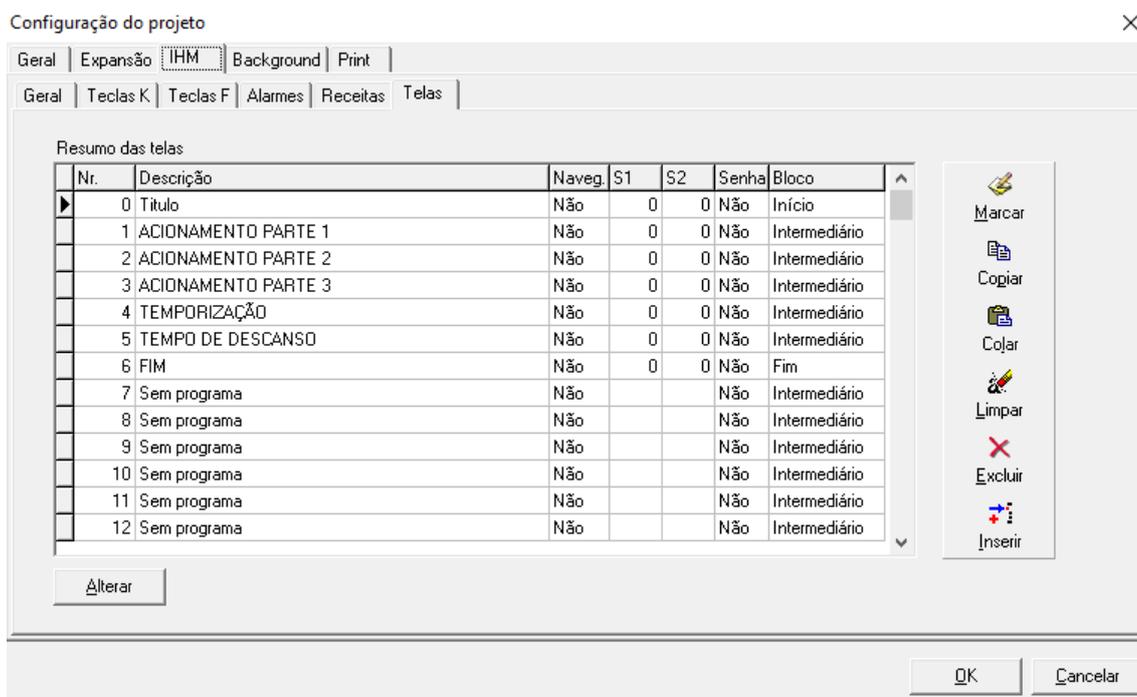
Na figura 42 temos o temporizador 3, responsável pelo tempo de descanso do autotransformador, ele impede que qualquer acionamento ocorra abrindo o caminho das entradas de sinais. É importante notar que a maioria dos circuitos se realimentam após o seu

acionamento, dependendo de outro sinal para desativa-lo, como pode ser visto na linha 29 da figura 42, o auxiliar 206 ativa uma entrada auxiliar 206 para se manter ativo para impedindo novos acionamentos.

Na figura 43 temos o sistema automático, o principal foco dele é reutilizar o programa já construído para controlar de forma automática os acionamentos. Dessa forma, é possível notar que o motor na linha 2, da auxiliar 200, que existe um terceiro acionamento a partir da chave auxiliar 211, assim como o impedimento de utilizar as entradas manuais para acionamento ou desligamento através da auxiliar 210, que representa o automático no controle do painel. A auxiliar 212 faz o tem as mesmas funções que a 211 só que para o acionamento do motor 2.

Além disso, através da programação da interface IHM, é possível interagir com o operador e também dar sinais, como pode se ver na figura 44, foi escrito na tela o passo a passo da utilização dos módulos, assim como a o tempo real dos temporizadores do sistema, é possível ver isso nas subseqüentes figuras 45 até 50. As entradas 0B0 até 0B4 são as teclas F1 a F4 do sistema, assim como 0A0 até 0A9 são as teclas K0 até K1. Esse teclado também veio com Leds sinalização, que podem ser acionados pelas saídas 0C0 até 0C5 (as que foram utilizadas neste programa).

Figura 44: Configuração das Telas do IHM.



Fonte: Autor.

Figura 45: Tela IHM.



Fonte: Autor.

Figura 46: IHM Acionamento Parte 1.



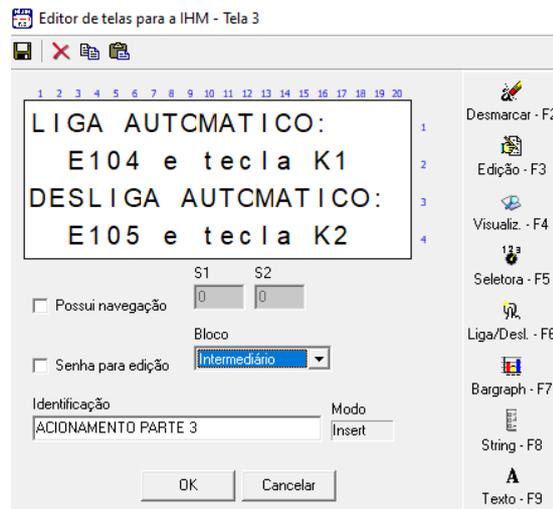
Fonte: Autor.

Figura 47: IHM Acionamento Parte 2.



Fonte: Autor.

Figura 48: IHM Acionamento Parte 3.



Fonte: Autor.

Figura 49: IHM Temporização.



Fonte: Autor.

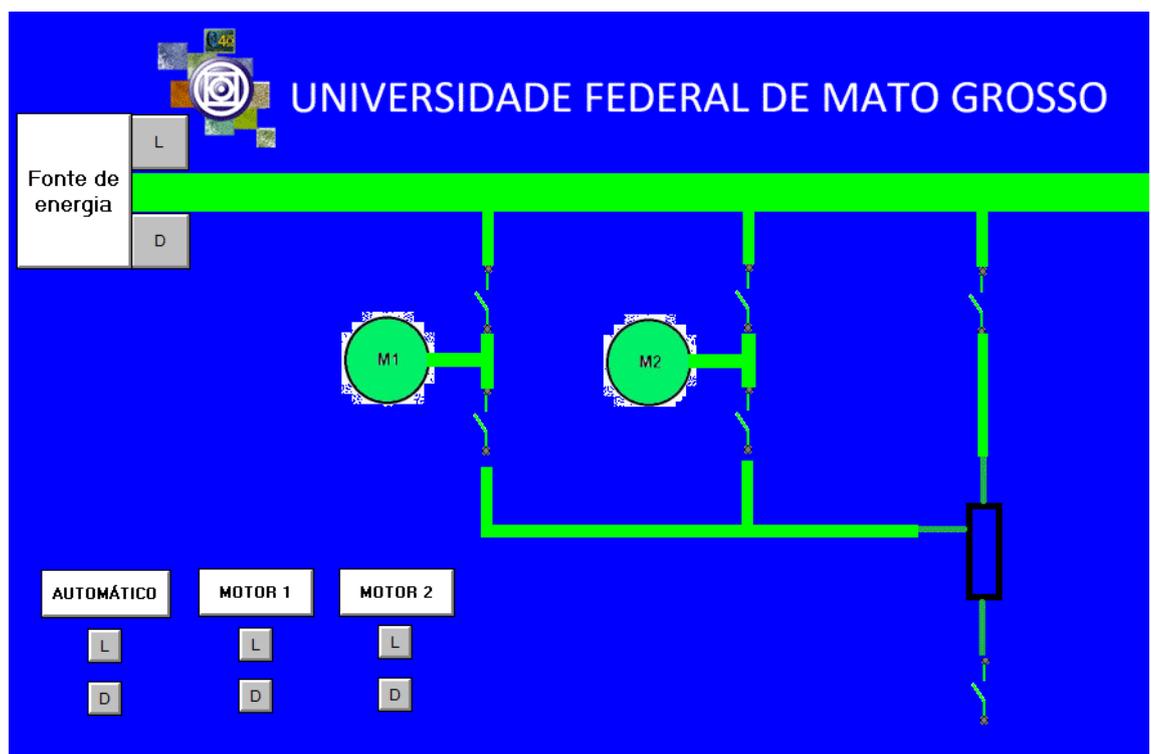
Figura 50: IHM Tempo de Descanso.



Fonte: Autor.

Além da programação do CLP, foram programados os supervisórios em *Scada Elipse escada*. Em resumo, ele serve como visual e como uma extensão do CLP, ou seja, o que foi desenvolvido tem o mesmo funcionamento que o anteriormente explicado. Seguindo o raciocínio, segue nas figuras 51, 52, 53 o desenvolvido no *software*. Lembrando que todas as imagens usadas foram desenvolvidas para a configuração do supervisório.

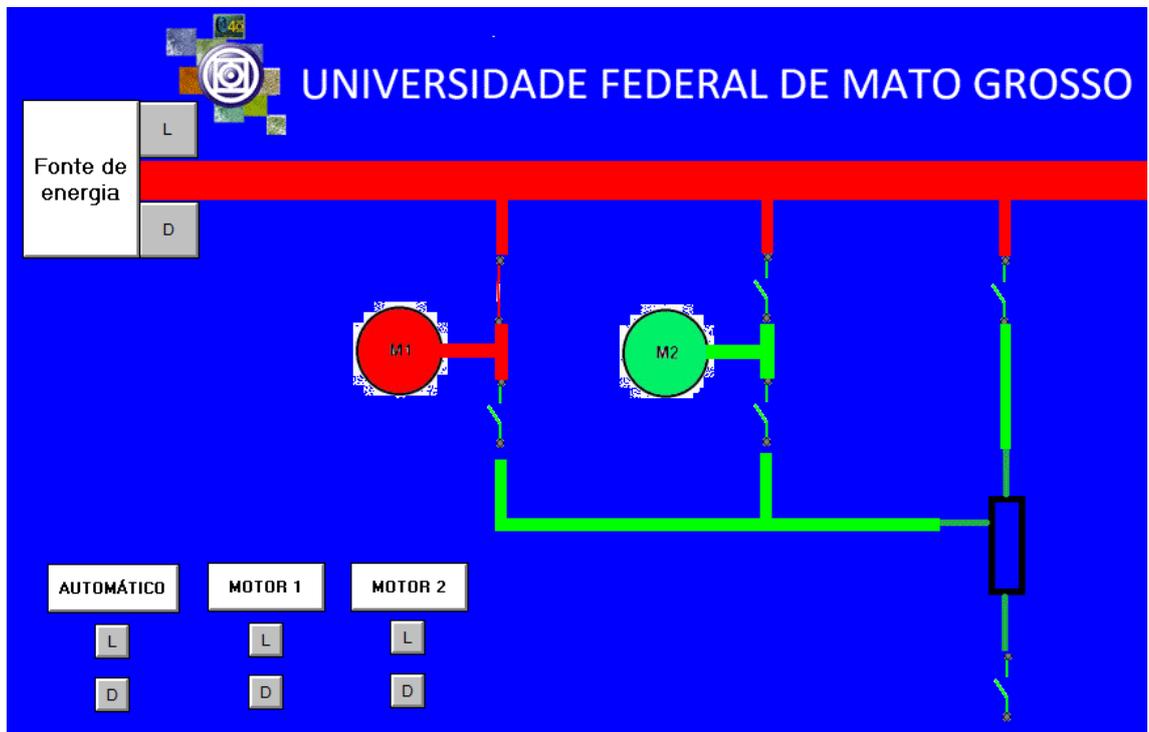
Figura 51: Supervisório - Motores Desligados.



Fonte: Autor.

Na figura 51 mostra o que no estado todo desligado, inclusive a fonte de energia.

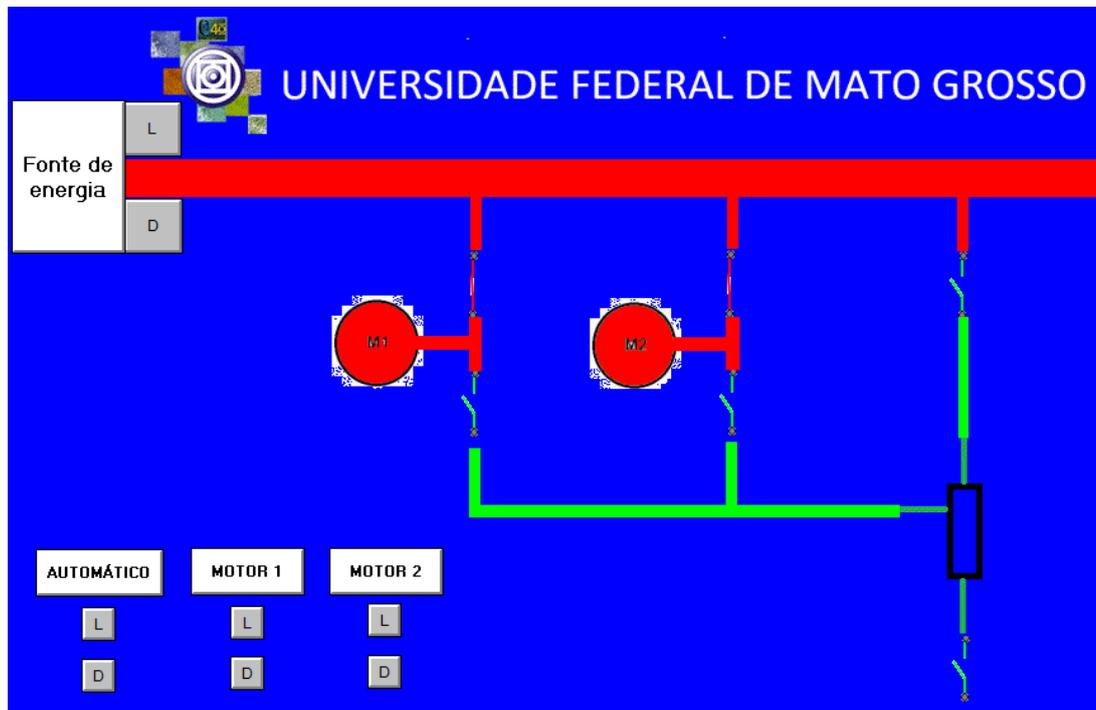
Figura 52: Supervisório - Motor 1 Ligado.



Fonte: Autor.

Na figura 52 mostras o final de um acionamento do motor 1.

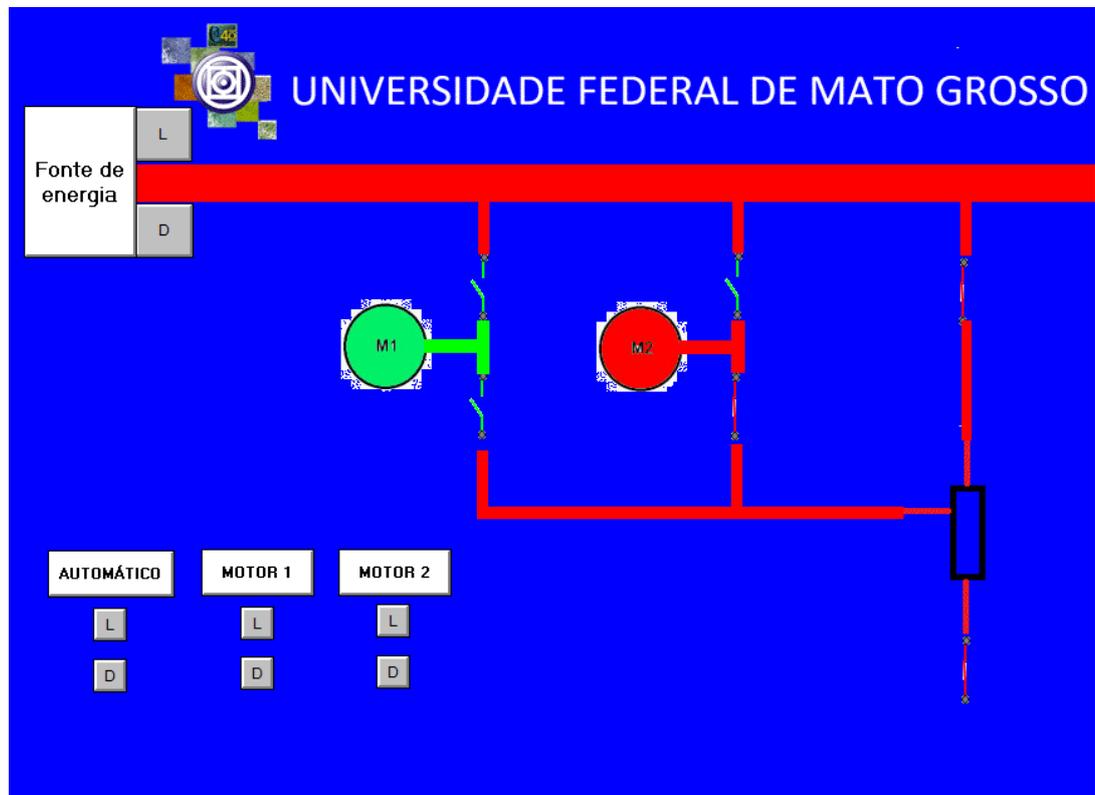
Figura 53: Supervisório - Motor 1 e 2 Ligado.



Fonte: Autor.

A Figura 53 está com ambos os motores ligados.

Figura 54:Supervisório - Motor 2 Ligado por Autotrafo.



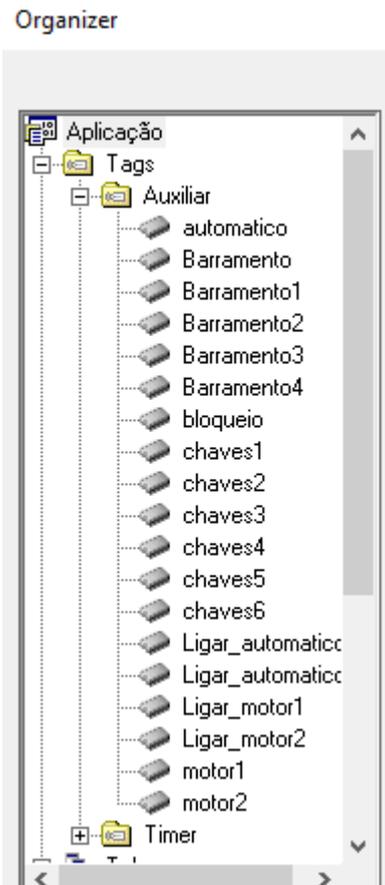
Fonte: Autor.

A figura 54 está mostrando durante o acionamento apenas do motor 2.

Com isso, o módulo pode ser completamente controlado pelo CLP, deixando que os equipamentos convencionais sejam substituídos completamente por ele. O supervisório não foi conectado ao CLP por meio de conexão Ethernet para controle a longa distância, por conta disso, supervisório foi programado para amostragem do sistema real em funcionamento, respondendo automaticamente a utilização de cada botão assim como configurado no CLP e como painel se comporta. Desse modo o projeto final acabou tendo dois códigos distintos, em Ladder no CLP e uma linguagem semelhante a linguagem C pelo supervisório.

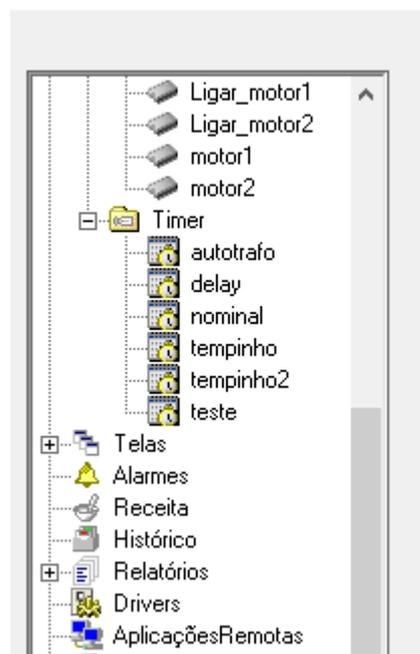
Para isso, foram criadas diversas *Tags auxiliares* para a exemplificação, assim como na figura 55 mostra, para cada processo e objeto existem diversas *Tags* com seus nomes para que os objetos correspondentes sejam atribuídos elas. Além disso, o que a figura 56 mostra são os *Timers* criados para cada parte do sistema, com isso foi possível representar cada um dos processos construídos pelo CLP.

Figura 55: Tags auxiliares.



Fonte: Autor.

Figura 56: Timers das operações.



Fonte: Autor.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme avaliado ao longo do texto, o módulo automatizado apresentou um funcionamento ótimo, pois cumpriu o objetivo de reproduzir o código, porém de forma automatizada. Os usuários terão a possibilidade de entender o processo em diversas instâncias caso estudem o sistema. É mais vantajoso em relação ao convencional, principalmente quando se trata de sistemas mais complexos em que possuem grandes números de contadores e temporizadores pois o CLP é capaz de substituir todos.

Quanto à comparação entre os controles, ficou perceptível a diferença entre ambos. Podemos perceber que o automatizado via CLP apresentou uma forma mais compacta e mais eficiente que o convencional pelo fato de utilizar menos equipamentos e apresentar uma configuração mais simples. Para o sistema avaliado eletromecânico/eletrônico, observa-se a necessidade de 70 contatos auxiliares, 17 bobinas, 8 lâmpadas, 3 temporizadores, 7 bobinas e 210 interligações entre os equipamentos, já o sistema automatizado via CLP / Supervisório, resume-se a 6 bobinas e 6 cabos para interligações ao sistema de potência.

Portanto, pode-se concluir que quase todos objetivos do trabalho foram cumpridos com sucesso e apresentaram praticamente os resultados desejados e os desenvolvimentos do programa apresentaram o funcionamento correto e sem problemas, permitindo que os alunos possam usá-lo para estudar o sistema automatizado e comparar com o módulo convencional.

### 5.1 Sugestão Para Trabalhos Futuros

Para os trabalhos futuros indica-se:

- Conectar o sistema Supervisório no CLP;
- Apresentar uma partida com mais motores elaborando maneiras de se melhorar o modo automático do módulo;

## REFERÊNCIAS

FERREIRA, Matheus Heitor Silva. Desenvolvimento De Um Programa Supervisório Para A Operação Automatizada De Duas Unidades De Processamento De Pinos Por Atrito. Uberlândia, 2019.

RODRIGUES, Jonatas Marques. Estudo Tutorial da Proteção de Sistemas Elétricos Industriais. Juiz de Fora, 2013.

DA SILVA, Marcelo Eurípedes. Curso de Comandos Elétricos. Piracicaba, 2006

FRANCHI, Claiton Moro. Acionamentos Elétricos. 4° Ed, São Paulo, 2008.

PINHEIRO, Hélio Henrique Cunha. Modulo2 Motores Trifásicos CA 22 a 44 2007. Natal, 2007.

FILHO, João Mamede. Instalações Elétricas Industriais. Instalações Elétricas Industriais. LTC, 9ª edição, 2017.

BEZERRA, Valter Alnis. Maxwell, a teoria do campo e a desmecanização da física. São Paulo, 2016.

KAWAPHARA, Mário Kiyoshi. **Apostila de Eletrotécnica Industrial**. Cuiabá, 2019.

FERREIRA, M. H. S. Desenvolvimento de um programa supervisório para a operação automatizada de duas unidades de processamento de pinos por atrito. Uberlândia, 2019.

CAPELLI, Alexandre. Automação Industrial: controle do movimento e processos contínuos. São Paulo, 2007.

KOSOW, Irving I. Máquinas Elétricas e Transformadores. 13.ed. São Paulo: Globo, 1998.

GONÇALVES, Cassiano. Study about Programmable Logic Controllers for use in Industrial Applications. 2009.

SOUZA, Fábio Da Costa. Desenvolvimento De Metodologia De Aplicação De Redes De Petri Para Automação De Sistemas Industriais Com Controladores Lógicos Programáveis (CLP). São Paulo, 2006.

ALVES, José Luiz Loureiro. Instrumentação, Controle e Automação de Processos. Rio de Janeiro, 2005.

GOMES, Sinésio. Controle e Automação Industrial III: Aula 10 - Criar um novo programa STEP 7 Siemens, 2020.

PAREDE, Ismael Moura; GOMES, Luiz Eduardo Lemes Gomes. Eletrônica Automação Industrial 6. Centro de Paula Souza, 2011.

CHAPMAN, S.J. Fundamentos de Máquinas Elétricas. 5ª Edição 2013.

REYES, Nelson. ELETROMAGNETISMO, 2013.

DESTER, Mauricio. Transformadores ligados como autotransformadores. 2019.

Sem autor. Partida Compensadora. Lombard chaves elétricas e ferramentas, 2019. Disponível em: <<https://lombard.com.br/wp-content/uploads/2019/08/PARTIDA-COMPENSADORA-PORTUGUES.pdf>>. Acesso em: 01, dezembro e 2022.

Sem autor. Partida Compensadora. Lombard chaves elétricas e ferramentas, 2019. Disponível em: <<https://lombard.com.br/wp-content/uploads/2019/08/ESTRELA-TRIANGULO-PORTUGUES.pdf>>. Acesso em: 01, dezembro e 2022.