



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DO
AMAZONAS
CAMPUS MANAUS- DISTRITO INDUSTRIAL
CURSO ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO**

DENNER EDSON DA CRUZ LEITE

**PROPOSTA DE UM MÓDULO DIDÁTICO PARA A PRÁTICA DE
PROGRAMAÇÃO DE CLP**

**MANAUS-AM
2023**

DENNER EDSON DA CRUZ LEITE

**PROPOSTA DE UM MÓDULO DIDÁTICO PARA A PRÁTICA DE
PROGRAMAÇÃO DE CLP**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia do
Amazonas, Campus Manaus Distrito
Industrial, Curso de Bacharelado em
Engenharia de Controle e Automação para
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia de Controle e Automação.

Orientador: Prof. Msc. Pedro Ivan das
Graças Palheta

Coorientador: Prof. Dr. Cleonor Crescêncio
das Neves

MANAUS-AM

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

L533p Leite, Denner Edson da Cruz.
Proposta de um módulo didático para a prática de programação de CLP
/ Denner Edson da Cruz Leite. — Manaus, 2023.
72f.: il. color.

Monografia (Graduação) — Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Amazonas, *Campus* Manaus Distrito Industrial, Curso de
Engenharia de Controle e Automação, 2023.

Orientador: Prof.º Pedro Ivan das Graças Palheta, Me.

Coorientador: Prof.º Cleonor Crescêncio das Neves, Dr.

1. Lógica de Programação. 2. Controladores. 3. Módulo didático. 4.
Ensino de Programação. I. Palheta, Pedro Ivan das Graças. II. Neves,
Cleonor Crescêncio das. III. Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Amazonas. IV. Título.

CDD 629.89

Elaborada por Oziane Romualdo de Souza (CRB11/ nº 734)

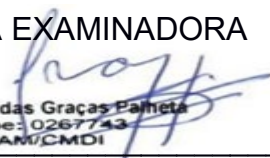
DENNER EDSON DA CRUZ LEITE

**PROPOSTA DE UM MÓDULO DIDÁTICO PARA A PRÁTICA DE
PROGRAMAÇÃO DE CLP**

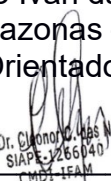
Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia do
Amazonas, Campus Manaus Distrito-
Industrial, Curso de Bacharelado em
Engenharia de Controle e Automação para
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia de Controle e Automação.

Aprovado em: 01/09/2023

BANCA EXAMINADORA


Pedro Ivan das Graças Palheta
Siape: 0267743
IFAM/CMDI

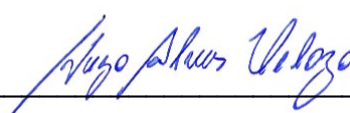
Prof. Msc. Pedro Ivan das Graças Palheta
Instituto Federal do Amazonas – IFAM, Campus CMDI
Orientador


Prof. Dr. Cleonor Crescêncio das Neves
SIAPE: 1266040
CMDI-IFAM

Prof. Dr. Cleonor Crescêncio das Neves
Instituto Federal do Amazonas – IFAM, Campus CMDI
Coorientador



Profa. Msc. Michaela Socorro Bruce Fialho
Instituto Federal do Amazonas – IFAM, Campus CMDI



Prof. Msc. Hugo Alves Veloso
Instituto Federal do Amazonas – IFAM, Campus CMDI

Dedico este trabalho a meus pais, Lucinda Leite e Edson Leite, que amo infinitamente. Esta conquista é um reflexo do amor e da dedicação que vocês depositaram em minha educação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, por me conceder o dom e as habilidades necessárias para conseguir iniciar e finalizar um curso complexo como a engenharia. Em segundo lugar, agradeço ao professor Pedro Ivan das Graças Palheta, pela sua paciência e disponibilidade em me guiar e orientar neste trabalho. De igual forma, ao professor Cleonor Crescêncio das Neves, pela sua generosa colaboração intelectual e por me auxiliar a ver as coisas como elas são. Aos demais membros do corpo docente do IFAM, que contribuíram para a minha formação acadêmica ao longo desses anos.

Agradeço aos meus colegas de curso e amigos, que compartilharam experiências, conhecimentos e momentos difíceis ao longo dessa jornada. Em especial, ao meu amigo Mário Hindenburg Batista do Amaral Filho, que me acompanha desde a infância e que compartilha o mesmo amor pela engenharia, sendo para mim como um irmão.

Agradeço em especial aos meus pais Lucinda da Cruz Leite e Edson Rodrigues Leite. É certo que seu amor e instrução foram esteio para que eu chegasse até este momento tão importante na minha vida. Aos meus queridos irmãos, Francisco José da Cruz Neto e Dimas Emerson da Cruz Leite, por todo apoio incondicional e incentivo, que foram combustíveis fundamentais para que eu pudesse superar os obstáculos e chegar até aqui.

E por fim, agradeço a todos que contribuíram direta ou indiretamente na minha formação acadêmica e profissional, e na consecução deste trabalho. Muito obrigado!

*"A educação é a arma mais poderosa que você pode
usar para mudar o mundo."*

- Nelson Mandela

RESUMO

Nos dias atuais, a automação se tornou uma necessidade vital, pois é capaz de aumentar a produtividade em diversos sistemas, de modo a otimizar tempo e recursos, sendo amplamente empregada no meio industrial. Dentre os diversos dispositivos utilizados na área de automação industrial, destacam-se o Controlador Lógico Programável (CLP) e o uso da linguagem de programação *ladder*, respectivamente, em virtude do baixo custo e objetividade. Neste contexto, o mercado de trabalho exige cada vez mais, profissionais capacitados e qualificados para programação e operação. Por isso, lança um olhar para as universidades, instituições que formam tais profissionais. De acordo com pesquisa divulgada pelo INEP, os dados relacionados às taxas de Desistência Acumulada (TDA) e Permanência (TAP) à níveis federal, estadual e local, refletem, entre outros fatores, a alta complexidade dos cursos de engenharia, e remetem a uma necessidade de rever os métodos de ensino adotados na formação de engenheiros. No âmbito acadêmico, verifica-se que os estudantes enfrentam dificuldades para aprender a programação desses equipamentos, seja pela falta de acesso a módulos para prática laboratorial ou pela indisponibilidade de recursos para prática fora do ambiente universitário. Assim, entende-se que a formação técnica deve ir além da teoria das salas de aula, destacando-se a prática laboratorial, com emprego de módulos didáticos, como ferramenta facilitadora da aprendizagem, com foco nas habilidades práticas exigidas pelo mercado de trabalho. Destarte, este trabalho tem como objetivo apresentar uma proposta de módulo didático portátil para a prática da programação de CLP, com emprego da linguagem *ladder*. Acredita-se que esse protótipo é uma contribuição significativa para a melhoria do ensino nas disciplinas específicas de programação e na formação dos futuros profissionais do curso de Engenharia de Controle e Automação, para que se formem mais capacitados e aptos ao mercado de trabalho, e aos desafios técnicos da profissão de engenheiro.

Palavras-chaves: CLP; Módulo Didático; Ensino de Programação.

ABSTRACT

Nowadays, automation is a vital necessity, but we have managed to increase production in different systems, optimize time and resources, and have invested extensively in our industrial sector. Among the various devices used in the area of industrial automation, it is necessary to use the Logic Programming Controller (PLC) and use the ladder programming language, respectively, in relation to your custom and object. In this context, the job market naturally requires professional skills and qualifications for programming and operation. Therefore, he took a look at universities, institutions that trained him professionally. In agreement with the information released by INEP, our children are related to Accumulative Education Taxes (TDA) and Permanent Education Taxes (TAP) at the federal, state and municipal levels, a reflection, among other factors, of the high complexity of engineering courses, and remittance for this it is necessary to dream about the learning methods adopted by the formation of births. Without academic training, students find it difficult to learn how to program this equipment, there is little access to modules for laboratory practice or the unavailability of practical university courses. Thus, we understand that technical training must be linked to classroom theory, highlighting laboratory practice, using didactic modules, as a tool to facilitate learning, focusing on practical skills implemented by the job market. To begin with, this work aims to present a proposal for a portable teaching module for PLC programming practice, using the ladder language. It is believed that this prototype is a significant contribution to the engineering area in our specific disciplines of programming and training of future professionals in the Control and Automation Engineering course, so that they are trained, qualified and suitable for the job market, and to engineering professionals.

Keywords: PLC; Didactic Module; Programming Teaching.

LISTA DE ILUSTRAÇÃO

Figura 1- Elementos básicos de um sistema automatizado.	19
Figura 2- Diagrama de bloco de um sistema de malha aberta.	20
Figura 3- Diagrama de bloco de um sistema de malha fechada.	21
Figura 4- Primeiro CLP.....	23
Figura 5- Partes principais de um CLP.....	25
Figura 6- Ciclo de funcionamento.....	26
Figura 7- Estrutura de um CLP.....	27
Figura 8- CLP E/S fixas.....	27
Figura 9- CLP E/S modulares.....	28
Figura 10- Dispositivos de entrada e saída de E/S de sinais discretos.	29
Figura 11- Síntese de linguagens de programação, segundo a IEC.	35
Figura 12- Síntese de contatos da linguagem ladder.	36
Figura 13- Representação da Função "E", linguagem ladder.....	37
Figura 14- Representação da Função "OU", linguagem ladder.....	37
Figura 15- Representação da Função "OU-Exclusivo", linguagem ladder.	38
Figura 16- Modelos de IHM da fabricante Samkoon.	39
Figura 17- Modelo de IHM teclado e display de sete segmentos.....	39
Figura 18- Mapa mental para execução do projeto.	41
Figura 19- Controlador Lógico Programável LE3U.....	42
Figura 20- IHM Samkoon- EA-043A.....	43
Figura 21- Chave comutadora da fabricante Schneider	44
Figura 22- Botão de acionamento da fabricante Schneider Electric.....	45
Figura 23- Sinalizador SIBRATEC- modelo AD22-G2.....	46
Figura 24- Interruptor da fabricante DAIER.....	46
Figura 25- Fonte da fabricante Hanyoung- HNPS50S-24-T.....	47
Figura 26- Gerador de sinal OneBusi.....	48
Figura 27- Componentes para simplificar as ligações.....	49
Figura 28- Kit Didático Treinamento em CLP – Widetech.	50
Figura 29- Modelagem 3D do módulo didático.....	51
Figura 30- Quadro plástico Schuhmacher.....	52
Figura 31- Puxador da fabricante elesa+Ganter.	53
Figura 32- Conector prensa cabo STECK.....	54

Figura 33- Trilho DIN da Dutoplast.....	54
Figura 34- Gabarito fixado na caixa de comando.....	55
Figura 35- Caixa de comando após processo.....	56
Figura 36- Caixa com os componentes embutidos.	56
Figura 37- Diagrama 1.	57
Figura 38- Diagrama 2.	58
Figura 39- Processo de ligação do módulo didático.....	59
Figura 40- Ligação do chicote ao gerador de sinal.....	59
Figura 41- Programas usados no módulo didático.	60
Figura 42- Checagem de funcionamento Função NA.	61
Figura 43- Checagem de funcionamento Função NF.....	62
Figura 44- Checagem de funcionamento Função E.	63
Figura 45- Checagem de funcionamento Função OU.....	64
Figura 46- Valores digitais para 4mA e 20mA.	65
Figura 47- Simulação de leitura de um sensor de temperatura.....	66
Figura 48- Questão proposta, funcionamento do tanque.	67
Figura 49- Simulação de funcionamento do protótipo finalizado.....	68
Figura 50- Programa que realiza o controle do processo.....	69
Figura 51- Programa de supervisão da IHM.....	70
Figura 52- Interface IHM.	71

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas.
CA	Corrente Alternada.
CC	Corrente Contínua.
CLP	Controlador Lógico Programável.
CPU	Central Processing Unit (Unidade Central de Processamento).
DIN	Deutsche Industrie Norm (Norma da Indústria Alemã).
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory (Memória de Leitura Programável Apagável Eletricamente).
EPROM	Erasable Programmable Read-Only Memory (Memória de Leitura Programável Apagável).
E/S	Entrada/Saída.
FBD	Function Block Diagram (Diagrama de Blocos de Funcionais).
FT	Fonte.
GND	Ground (Referência de Terra).
GM	General Motors.
IHM	Interface Homem-Máquina.
IEC	International Electrotechnical Commission (Comissão Eletrotécnica Internacional)
IL	Instruction List (Lista de Instruções).
LCD	Liquid Crystal Display (Display de Cristal Líquido)
LD	Ladder Diagram (Ligagem Ladder).
NA	Normalmente Aberto
NF	Normalmente Fechado
PROM	Programmable Read-Only Memory (Memória de Leitura Programável)
RAM	Random Access Memory (Memória de Acesso Aleatório)
SFC	Sequential Function Chart (Sequenciamento Gráfico de Função)
ST	Structured Text (Texto estruturado).

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 Justificativa.....	17
1.2 Objetivo	18
1.2.1 Objetivo geral	18
1.2.2 Objetivos específicos	18
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1 Conceitos básicos de automação industrial.....	18
2.2 Elementos básicos de um sistema automatizado	19
2.2.1 Energia	19
2.2.2 Programa de Instrução	20
2.2.3 Sistemas de Controle	20
2.3 Controladores Lógicos Programáveis (CLP)	22
2.3.1 Histórico e evolução	22
2.3.2 Vantagens do CLP	24
2.3.3 Princípios de Funcionamento	24
2.4 Estrutura de um CLP	27
2.4.1 Módulos de E/S	27
2.4.2 Fonte de alimentação	30
2.4.3 Unidade de processamento.....	30
2.4.5 Memória do programa monitor	31
2.4.6 Memória do usuário.....	31
2.4.7 Bateria	31
2.4.8 Memória de dados.....	32
2.4.9 Memória imagem das entradas e saídas.....	32
2.4.10 Circuitos auxiliares	32
2.5 Programação de CLPs	32
2.6 Linguagem de programação ladder.....	34
2.6.1 Funções básicas da linguagem ladder	36
2.7 Interfaces Homem-Máquina (IHM).....	38
2.7.1 Tipos de IHM	39
3 METODOLOGIA	40
3.1 Método.....	40
3.1 Materiais utilizados	42

3.1.1 Controlador Lógico Programável- LE3U.....	42
3.1.2 Chaves comutadoras	44
3.1.3 Botões de pulso.....	45
3.1.4 Sinalizador.....	45
3.1.5 Interruptor Liga/desliga.....	46
3.1.6 Fonte de alimentação	47
3.1.7 Gerador de Sinal	48
3.1.8 Outros componentes	49
3.2 Desenho do protótipo	49
3.2.1 Modelagem 3D	50
3.2.2 Componentes estruturais	51
3.3 Montagem	55
3.3.1 Procedimento de furação e montagem dos componentes	55
3.3.2 Processo de ligação elétrica.....	56
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	60
4.1 Síntese do módulo didático.....	60
4.2 Teste inaugural	61
4.2.1 Função Normal Aberta (NA).	61
4.2.2 Função Normal Fechada (NF).....	62
4.2.3 Função E.....	62
4.2.4 Função OU	63
4.3 Teste entrada analógica.....	64
4.4 Teste prático	66
4.4.1 Simulação da aplicação do módulo didático.....	67
4.4.2 Implementação da IHM.	69
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	72
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	73
APÊNDICE A – Desenho de Montagem	76
APÊNDICE B – Gabarito para Furação	77
APÊNDICE C – Diagrama de ligação	78
APÊNDICE D – Diagrama de ligação 2.....	79
APÊNDICE E – Síntese do módulo didático e simulação de exercício de validação proposto (vídeo).....	80

1 INTRODUÇÃO

A automação se tornou uma necessidade vital atualmente, pois é capaz de trazer mais qualidade de vida para as pessoas e aumentar a produtividade em diversos sistemas, otimizando tempo e recursos. Pode ser utilizada em diversos setores da indústria, incluindo produção, estoque, recursos humanos, finanças e outros. Fazendo uso da automação, as empresas são capazes de aumentar a eficiência dos processos e garantir a qualidade do trabalho realizado. Isto significa menos erros humanos, maior rapidez na execução das tarefas e menor desperdício de recursos. Além disso, a automação permite que as empresas se adaptem rapidamente às mudanças do mercado e às demandas dos consumidores, mantendo-se competitivas. Isto é particularmente importante em um cenário em que a tecnologia e as inovações avançam rapidamente.

Dentre os diversos dispositivos empregados na área de automação industrial, o Controlador Programável (CP) é um dos mais destacados. Conhecido também como Controlador Lógico Programável (CLP) ou pela sigla em inglês PLC (Programmable Logic Controller), foi desenvolvido para atender às necessidades da indústria automotiva. Antes do surgimento do CP, os painéis eletromecânicos para controle lógico eram utilizados, o que dificultava alterações e ajustes na lógica de funcionamento, resultando em perda de tempo e gastos adicionais para as montadoras a cada mudança na linha de produção (ZANCAN, 2016). A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) define-o como um “equipamento eletrônico digital com hardware e software compatíveis com aplicações industriais” (PAREDE I. M.; GOMES, 2011). A interface homem máquina (IHM) é outro dispositivo amplamente utilizado na automação industrial, que tem ganhado destaque com a disseminação da Indústria 4.0. A IHM engloba todos os elementos que uma pessoa pode usar para ler e controlar o funcionamento de uma máquina (ROCHA, 2021). Neste contexto de ampla utilização deste elemento específico, o mercado de trabalho exige cada vez mais, profissionais capacitados e qualificados para programação e operação deles. Por isto, lança-se um olhar para as Universidades, instituições que formam tais profissionais.

Atualmente, estudantes da área de engenharia enfrentam dificuldades para aprender a programação desses equipamentos, seja pela falta de acesso a módulos e bancadas de estudo para prática laboratorial, seja pelos altos custos envolvidos na

aquisição de tais equipamentos, ou ainda, pela indisponibilidade de acesso aos recursos para prática laboratorial fora do ambiente universitário. Com isso, surge a necessidade de desenvolver um módulo didático portátil, que permita o estudo e aprimoramento (prática) da programação de CLP de maneira prática e acessível.

No Brasil, conforme divulgado pelo Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais, o INEP (2020), no último senso realizado, os cursos voltados para as áreas de Engenharia, Produção e Construção, aumentaram desde o último senso, onde representam um total de 6.522 (seis mil, quinhentos e vinte e dois) unidades, que corrobora em 15,5%, entre instituições públicas e privadas, do total de cursos de graduação de nível superior no país. Tais dados vão ao encontro do que afirma *Figuêredo et al. (2021)*, “nas últimas décadas, o ensino superior no Brasil passou por um intenso processo de expansão”. No entanto, os autores remetem que embora este número tenha expandido, existem problemas no ensino superior brasileiro que persistem, entre eles, citam-se: os altos índices de evasão e reprovação, sendo o maior impacto, nos cursos de engenharia.

Os autores justificam estes indicadores, que destoam do ideal, ao descrever que os cursos de graduação se apresentam como uma ‘nova realidade’ aos estudantes, principalmente ao tratar-se de disciplinas e conteúdo. Para os autores, de maneira especial, o “choque de realidade” ao qual se refere em partes do texto, aconteça nos cursos de engenharia, com estudantes novatos que precisam adaptar-se à universidade, com todas as suas características e particularidades. Os autores *Figuêredo et al. (2021)*, entendem a adaptação dos estudantes como um processo, que envolve diferentes dimensões e cita a disciplina de programação, como sendo uma das que os alunos sentem maiores dificuldades, haja vista, sua complexidade e exigência daquilo que os autores chamam de pensamento computacional.

Tais afirmações vão ao encontro da afirmação “é um fato conhecido da comunidade acadêmica que estudantes novatos apresentam dificuldades na aprendizagem de programação”, e ainda “no ensino superior, tais dificuldades são mais evidentes e levam a altos níveis de evasão e reprovação”. Entende-se, portanto, que o nível de complexidade dos cursos de engenharia, consoante às dificuldades de aprendizagem enfrentadas nas disciplinas cursadas, contribuem para a condução dos estudantes à evasão nos cursos de engenharia a nível superior.

No Amazonas, no norte brasileiro, foi feito um acompanhamento estatístico no período de 2012 a 2021, onde apresenta-se dados de média, consoantes ao nível

Brasil, com Taxa de Permanência (TAP) é de 28,2% e a Taxa de Conclusão Acumulada (TCA) de 25,6%, frente à uma Taxa de Desistência Acumulada (TDA) de 46,3% (INEP, 2021).

Ao que tange o objeto de estudo ao qual a proposta deste trabalho é submetida, o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia (IFAM), Campus Manaus Distrito Industrial (CMDI), pelo acompanhamento anual do curso de Engenharia de Automação Industrial, no período de 2012 a 2021, apresentou dados de média, acima dos apresentados em nível estadual e federal, onde a Taxa de Permanência (TAP) é de 38% e a Taxa de Conclusão Acumulada (TCA) de 18,4%, frente a uma Taxa de Desistência Acumulada (TDA) de 52,7% (INEP, 2021). Os dados a nível federal, estadual e local, refletem entre outros fatores, a alta complexidade dos cursos de engenharia, como apontado por Figuêredo *et al.* (2021), há também, uma necessidade de olhar mais detalhadamente para as instituições e os métodos de ensino adotados na formação do profissional engenheiro.

Neste contexto, existem vários diálogos na academia que discutem a respeito da formação de tais profissionais. De acordo com a literatura clássica Carvalho *et al.* (2001), “A formação do Engenheiro não pode ser feita somente de fórmulas e conceitos. Ele precisa estar preparado para tomar decisões, saber buscar informações e saber aplicá-las, possuir uma visão sistêmica para melhor analisar situações novas”. Desta maneira, entende-se que a formação destes profissionais deve ir além da teoria das salas de aula, destacando-se a prática laboratorial, com o exercício em módulos e bancadas específicos das disciplinas trabalhadas, como ferramenta facilitadora da aprendizagem. Tais autores ainda fazem uma crítica aos métodos de ensino-aprendizagem tradicionais, ao afirmarem “A engenharia é uma área do conhecimento que necessita passar por mudanças no processo de ensino aprendizagem. Ou seja, o aluno precisa aprender a aprender. Tornando a aprendizagem um ato que tenha significado”.

Concerne a isso, apresentam-se as ideias de Lopes e Reis (2019) que afirmam “nos cursos de graduação da área de Ciências Exatas, ainda persiste um método de ensino tradicional”. E do autor Oliveira (2019), que de igual forma critica o método tradicional do professor como um incentivador da reprodução de algoritmos, através da contínua resolução de exercícios, sem o desenvolvimento de pensamento crítico, autônomo ou mesmo lógico, por parte dos estudantes.

Neste cenário, os módulos didáticos apresentam-se como uma opção atrativa aos recursos tradicionais, de modo a facilitar o aprendizado teórico e prático em disciplinas de engenharia e áreas afins. Além disso, esses equipamentos permitem que os estudantes desenvolvam habilidades práticas necessárias para o mercado de trabalho. De acordo com Amorim (2006), as bancadas didáticas se tornaram indispensáveis na educação, já que os conceitos apresentados em sala de aula nem sempre são suficientes para o aprendizado de alguns alunos. As bancadas didáticas têm como objetivo consolidar os conceitos teóricos e são dispositivos fundamentais para o processo de ensino.

É de suma importância o uso de módulos e didáticas para o aprendizado e melhoria da educação técnica, pois permitem aos alunos possam praticar seus conhecimentos em um ambiente seguro e controlado, o que pode ser mais motivador e enriquecedor do que aulas expositivas. Embora sejam complementares, as bancadas didáticas podem contribuir significativamente para aquisição de conhecimento e instigar o interesse pela área técnica, preparando melhor os alunos para desafios reais na carreira profissional (SILVA et al., 2015).

Em síntese, este trabalho tem como objetivo apresentar a construção de um módulo didático portátil para a prática da programação de CLP. Acredita-se que esse protótipo será uma contribuição significativa para a melhoria do ensino nas disciplinas específicas de programação relacionadas e na formação de profissionais do curso de Engenharia de Controle e Automação mais capacitados ao mercado de trabalho.

1.1 Justificativa

De acordo com Anderle (2017), “a aprendizagem na prática favorece ao aproveitamento dos alunos nas disciplinas”, em complemento, o autor remete que no mercado de trabalho, o profissional de engenharia precisa ser capaz de suprir as necessidades e operar de forma segura e eficaz as máquinas e equipamentos propostos.

O projeto e uso de módulos didáticos é uma metodologia já conhecida no âmbito do ensino da engenharia, conforme remetem Lisboa *et al.* (2014), “a utilização de bancadas didáticas como método que venha a ampliar e facilitar a qualificação de futuros Engenheiros que sejam capacitados a dimensionar, projetar e analisar máquinas de fluxo, tem evoluído significativamente”. Dessa maneira, entende-se que a presente proposta virá contribuir (quando em sua adoção), com prática de

estudantes de engenharia do curso de Engenharia de Controle e Automação, no estudo das disciplinas relacionadas à programação.

1.2 Objetivo

1.2.1 Objetivo geral

Apresentar uma proposta de módulo didático para a prática de Controlador Lógico Programável (CLP).

1.2.2 Objetivos específicos

- Aprofundar estudos sobre CLP e linguagem *ladder* (levantamento bibliográfico);
- Desenvolver o projeto de um módulo didático para prática de CLP;
- Construir o módulo didático, segundo projeto desenvolvido;
- Simular, através da aplicação (teste prático), o funcionamento do módulo didático (linguagem de programação *ladder*);

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A fundamentação teórica que aborda conceitos relacionados à automação industrial, Controladores Lógico Programáveis (CLP), linguagem de programação de CLP, com foco na linguagem *ladder*, por ser este o escopo e principal ferramenta deste estudo, conforme objetivos propostos no item 1.2.

2.1 Conceitos básicos de automação industrial

A automação industrial é uma área complexa que demanda uma abordagem multidisciplinar, pois envolve diversas áreas do conhecimento como informática, eletricidade, eletrônica, física, química, matemática, e conhecimentos em engenharia de produção. Essa amplitude permite a aplicação da automação em diferentes setores industriais, tornando-a um campo de estudo e pesquisa cada vez mais importante para a otimização e eficiência dos processos produtivos (COSTA, *et.al.*, 2003).

Automação industrial é um conjunto de técnicas que possibilita a construção de sistemas ativos aptos a atuar de maneira eficaz, utilizando informações coletadas do ambiente em que operam. A partir dessas informações, o sistema calcula a ação corretiva mais apropriada para a situação, seguindo um processo semelhante ao de um operador humano, que processa informações sensoriais e executa a ação mais

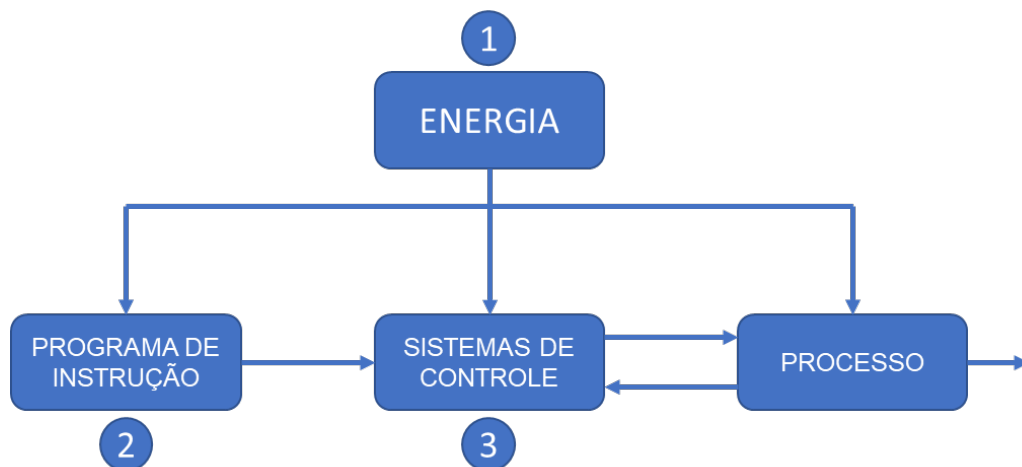
adequada. Além disso, o conceito de automação inclui o uso de energia elétrica ou mecânica para acionar máquinas e equipamentos, com a adição de inteligência para que eles executem suas tarefas da forma mais eficiente possível, levando em consideração a segurança e a economia (COSTA, *et.al.*, 2003).

A adoção de equipamentos automatizados pode ajudar a superar a desvantagem dos altos custos de mão de obra em comparação aos concorrentes internacionais. A automação permite reduzir os custos com trabalhadores, diminuir o número de etapas de produção e aumentar a qualidade e uniformidade dos produtos (GROOVER, 2011).

2.2 Elementos básicos de um sistema automatizado

Segundo GROOVER (2011), para automatizar um processo embora possam ocorrer variações, a Figura 1, representa os componentes fundamentais presentes em qualquer sistema automatizado.

Figura 1- Elementos básicos de um sistema automatizado.



Fonte: Autor (2023).

2.2.1 Energia

Um sistema automatizado requer energia para funcionar e quase sempre essa energia é elétrica, embora possa ser convertida em outros tipos de energia, como mecânica, térmica, luminosa e pneumática. A energia elétrica é usada para alimentar os componentes de força e comando, com tensões mais baixas para os componentes de comando. Inclusive é utilizada em sistemas de comunicação e armazenamento de dados, onde os principais protocolos são transmitidos por pulsos elétricos. Outra

aplicação importante da energia elétrica é o armazenamento em baterias de longa duração, que fornecem energia a sistemas que não possuem fonte externa de energia.

2.2.2 Programa de Instrução

Na automação industrial, as ações são executadas com base em um programa de instruções, como na linha de usinagem, em que o programa descreve os procedimentos necessários para criar uma peça. Esse programa é chamado de Programa de Ciclo de Trabalho e pode ser utilizado para criar a peça completa ou parcialmente.

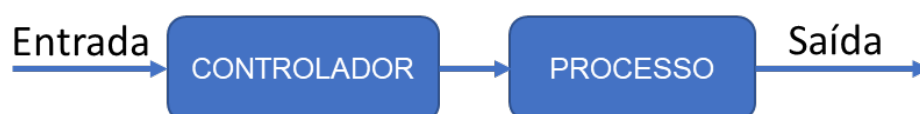
As características dos programas de ciclo de trabalho para direcionar as operações em um sistema automatizado podem ser divididos em: número de etapas no ciclo de trabalho, participação manual no ciclo de trabalho, interação com o operador, variações nos modelos de peças ou produtos e variações na unidade de trabalho inicial (GROOVER, 2011).

2.2.3 Sistemas de Controle

É de fundamental importância para um processo automatizado tendo em vista que são responsáveis por executar os comandos necessários para as operações de produção com base no programa de instruções. Podem ser divididos em duas categorias principais: controle de malha aberta e controle de malha fechada.

No controle em malha aberta, o sinal de entrada é constante e definido com base em experiências anteriores para que o sistema produza a saída desejada. Não há *feedback* ou informação para corrigir a entrada e alcançar uma saída precisa. Um exemplo comum disso é o forno de micro-ondas, onde a função "descongelar" é programada com tempos pré-determinados, sem a possibilidade de verificar se o processo foi realizado corretamente, havendo necessidade de verificar e retirar o alimento, caso esteja na condição desejada (BAYER; ARAÚJO, 2011). Os elementos básicos para esse sistema são encontrados na Figura 2 .

Figura 2- Diagrama de bloco de um sistema de malha aberta.



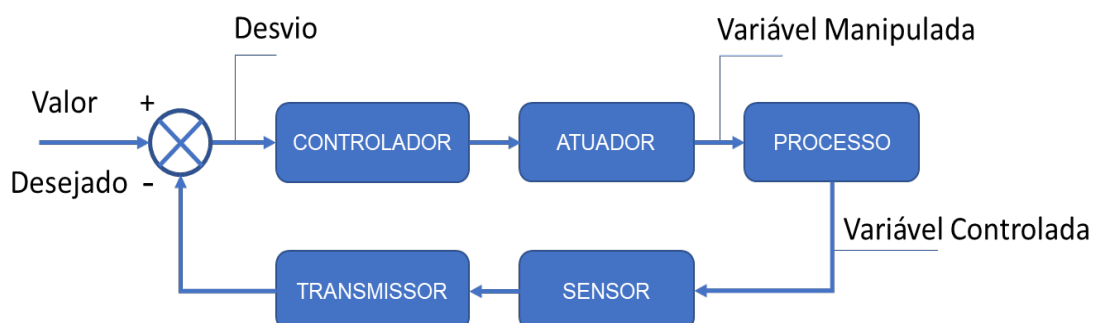
Fonte: Autor (2023).

Em um sistema de malha fechada, o sinal de saída é continuamente comparado com o sinal de entrada, gerando um sinal corrigido que é inserido de volta no sistema para atingir o sinal de saída desejado. Esse tipo de malha traz vantagens como a correção de erros, manutenção de uma saída constante e uma maior resistência a perturbações externas. No entanto, esses sistemas são mais complexos e têm um custo mais elevado em comparação com sistemas de malha aberta (BAYER; ARAÚJO, 2011).

Um sistema de retroalimentação consiste em componentes básicos, sendo o comparador o primeiro deles. Ele compara o valor medido na saída com o valor de referência e gera um sinal de erro que indica quanto o sinal de saída está divergindo do sinal de entrada. Em seguida, o controlador é acionado e toma a ação necessária com base no erro enviado pelo comparador. O atuador, por sua vez, recebe o sinal do controlador e age sobre a variável manipulada para ajustar e alterar a variável controlada, corrigindo o erro. O processo é o sistema que está sendo controlado e o sensor lê a variável controlada na saída e envia sua condição na forma de sinal para o comparador, fechando o ciclo da malha (BAYER; ARAÚJO, 2011).

Em sistemas de controle de malha fechada, um sensor é utilizado para monitorar uma variável específica do processo, que pode ser a velocidade de um motor, a pressão, a vazão de um líquido, a temperatura ou qualquer outra variável que precise ser controlada. Esse valor é então convertido em uma escala numérica de unidade de engenharia para que possa ser processado pelo sistema. Em seguida, a variável é comparada com o ponto de ajuste do sistema e a diferença entre o ponto de ajuste e a variável medida é conhecida como erro, o qual precisa ser minimizado pelo sistema. Esse valor é retornado ao sistema para corrigir o erro (LAMB, 2015). Os elementos básicos para esse sistema são encontrados na figura 3.

Figura 3- Diagrama de bloco de um sistema de malha fechada.



Fonte: Autor (2023).

Sistemas em malha fechada são mais estáveis do que sistemas em malha aberta, tendo em vista que apresentam menor sensibilidade a mudanças de carga. Para que um sistema em malha fechada reduza o erro ao longo do tempo, ele deve ser capaz de gerar dentro do sistema um sinal a partir de um sinal de perturbação com o intuito de cancelá-lo (BAYER; ARAÚJO, 2011).

2.3 Controladores Lógicos Programáveis (CLP)

O Controlador Lógico Programável (CLP), também conhecido como PLC (*Programmable Logic Controller*), é um computador industrial de estado sólido. Possui a capacidade de armazenar instruções para controlar um processo e implementar funções e blocos funcionais em um sistema, incluindo sequências lógicas, temporização e contagem. O CLP pode realizar operações lógicas e aritméticas, manipular dados e comunicar-se em rede (DA SILVA, 2021).

2.3.1 Histórico e evolução

O Controlador Programável (CP), também conhecido como Controlador Lógico Programável (CLP) e pela sigla em inglês PLC (*Programmable Logic Controller*), surgiu em resposta às necessidades da indústria automobilística. Antes do CLP, eram utilizados painéis eletromecânicos para controle lógico, os quais dificultavam a realização de alterações e ajustes em sua lógica de funcionamento. Isso levava as montadoras a gastarem mais tempo e dinheiro a cada alteração na linha de produção (ZANCAN, 2016).

Para resolver esse problema, a General Motors (GM) desenvolveu o primeiro CLP em 1968. Ele apresentava grande versatilidade de programação e era fácil de usar. Desde então, o CLP tem sido constantemente aperfeiçoado para atender às diversas aplicações atuais em automação de processos (ZANCAN, 2016).

Concebido por Dick Morley, o PLC foi produzido por sua empresa Modicon. A GM determinou que o equipamento respeitasse as seguintes especificações:

- O controlador deveria ser de estado sólido;
- O sistema precisava ser flexível;
- Os controladores deveriam ser capazes de resistir ao ambiente industrial;
- A programação deveria ser fácil;
- Que o sistema fosse capaz de ser reutilizado;

- O preço deveria ser competitivo com os sistemas de controle de relé;
- As interfaces de entrada e saída (E/S) deveriam ser facilmente substituíveis;
- Um projeto modular deveria ser utilizado para permitir que subconjuntos fossem facilmente removidos, substituídos e reparados;
- Os dados de fabricação deveriam ser coletados e enviados a um sistema de computação central;
- O método de programação deveria ser em forma de lógica *ladder* de relé, método com o qual os eletricitistas, engenheiros e técnicos de fábrica já estavam familiarizados;

O resultado foi um equipamento que substituiu as lógicas eletromecânicas baseadas em relés que eram utilizadas em ambientes de produção. Esse dispositivo foi chamado de Controlador Programável (CP) e recebeu o nome de "084", sendo o 84º projeto desenvolvido pelo grupo responsável (FERRAZ, 2018). A Figura 4 retrata o primeiro CP funcional da história.

Figura 4- Primeiro CLP.



Fonte: Blog Schneider Electric (2018).

Os Controladores Programáveis evoluíram em cinco gerações ao longo do tempo. Na primeira geração, a programação era feita em *Assembly*. A utilização de linguagens de nível médio se apresentou já na segunda geração, com *softwares* que convertiam o programa desenvolvido pelo usuário em linguagem de máquina. A terceira geração, permitiu com que fosse possível a conexão de teclados ou programadores portáteis. Na quarta geração, os CLPs apresentavam entrada para comunicação serial, permitindo a programação direta de um computador

possibilitando também o teste. Os Controladores Programáveis de quinta geração apresentam padrões de protocolos de comunicação que simplificam a interface com outros equipamentos e sistemas supervisórios (ZANCAN, 2016).

2.3.2 Vantagens do CLP

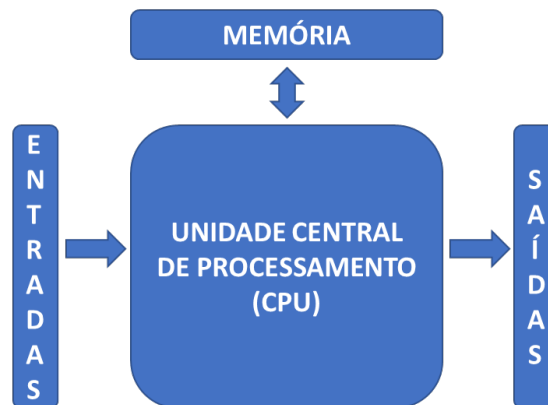
De acordo com Petruzella (2014), existem várias vantagens do Controlador Lógico Programável (CLP) em relação aos painéis eletromecânicos, destacando-se:

- *Confiabilidade*: já que todo o programa é armazenado em sua memória e não há chance de erros na fiação. Além disso, os CLPs eliminam a necessidade de uma fiação externa volumosa para o controle de um processo, tornando a instalação mais fácil e menos custosa.
- *Flexibilidade*: pois pode-se criar e modificar programas, que permite ao usuário determinar as relações entre entradas e saídas de forma mais personalizada para atender às necessidades de diferentes processos.
- *Menor custo*: em comparação aos relés de controle, especialmente em aplicações que utilizam mais de seis relés.
- *Comunicação*: é de fácil interação com outros controladores e equipamentos, o que os torna ideais para funções como supervisão de controle, coleta de dados e monitoramento de parâmetros do processo.
- *Velocidade*: o CLP pode executar rapidamente tarefas complexas, enquanto os painéis eletromecânicos são mais lentos e menos eficientes, sua capacidade de resposta rápida é essencial para aplicações em tempo real.
- *Diagnósticos*: possui recursos de diagnóstico avançados que permitem que os problemas sejam rapidamente identificados e corrigidos, enquanto os painéis eletromecânicos são mais difíceis de diagnosticar e solucionar. Os usuários podem visualizar o programa em tempo real em um monitor para detectar e reparar problemas com facilidade.

2.3.3 Princípios de Funcionamento

Para o entendimento do funcionamento básico de um Controlador Lógico Programável (CLP), é necessário conhecer as suas partes, didaticamente divide-se em três partes principais, conforme ilustrado na Figura 5:

Figura 5- Partes principais de um CLP.



Fonte: Autor (2023)

A figura 5 apresenta as partes principais de Controlador Lógico Programável (CLP), abaixo relaciona-se a designação de cada uma dessas áreas, e a sua funcionalidade:

- *Unidade Central de Processamento (CPU):* é o cérebro do CLP, responsável pelo processamento dos dados e execução dos programas. A CPU é responsável por receber as entradas do processo, processar esses dados de acordo com a lógica programada e enviar as saídas correspondentes.
- *Módulos de Entrada e Saída (E/S):* são responsáveis por conectar o CLP ao processo real, permitindo que o CLP leia as variáveis do processo (entradas) e envie sinais para controlar as saídas. Os módulos de E/S podem ser digitais, analógicos ou especiais, dependendo das necessidades do processo.
- *Memória:* É responsável por armazenar os programas e dados do CLP. Existem dois tipos de memória em um CLP: a memória de programa, que armazena o programa a ser executado, e a memória de dados, que armazena as variáveis e valores usados pelo programa.

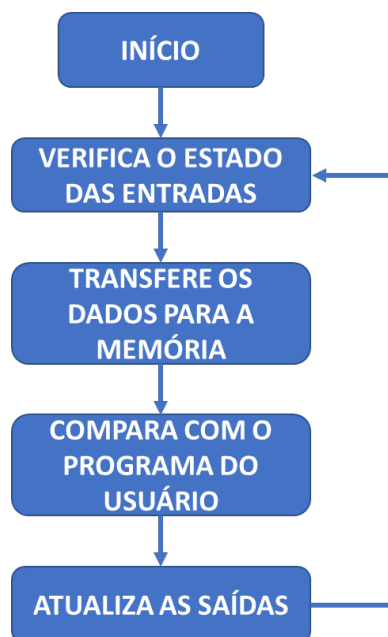
O CLP opera através do programa desenvolvido para atender às necessidades do usuário, contendo um conjunto de instruções que serão executadas pelo controlador. Os sinais dos sensores ou transdutores que estão conectados ao equipamento são aplicados às entradas do CLP, permitindo que o controlador receba informações sobre o processo. Durante cada ciclo, chamado de *scan* ou varredura (SANTOS JÚNIOR, 2019).

O funcionamento do CLP segue um ciclo composto por três etapas. Na primeira etapa, conhecida como *etapa de entrada*, os sinais externos aplicados às entradas do controlador são lidos e transferidos para uma área da memória interna do CLP, chamada tabela imagem da entrada (SANTOS JÚNIOR, 2019).

Na segunda etapa, conhecida como *etapa de programa*, o programa é executado e os sinais adquiridos na etapa de entrada são utilizados para decidir os valores dos sinais de saída digitais e analógicos. Esses valores são armazenados em uma região de memória chamada imagem de saída. Durante a execução do programa, os sinais de saída não são alterados, a menos que sejam ativadas entradas de elevada prioridade, que são utilizadas em emergências. Quando uma interrupção é acionada, o CLP interrompe o trabalho em curso e executa um programa que atende à interrupção. Após a conclusão da interrupção, o programa principal é retomado (SANTOS JÚNIOR, 2019).

Na terceira etapa, conhecida como *etapa de saída*, todos os valores de saída estabelecidos pelo programa e armazenados na imagem de saída são aplicados aos módulos de saída. Terminadas as três etapas, o ciclo de *scan* é reiniciado com a etapa de entrada (SANTOS JÚNIOR, 2019). O processo de execução segue uma rotina definida, conforme figura 6.

Figura 6- Ciclo de funcionamento.

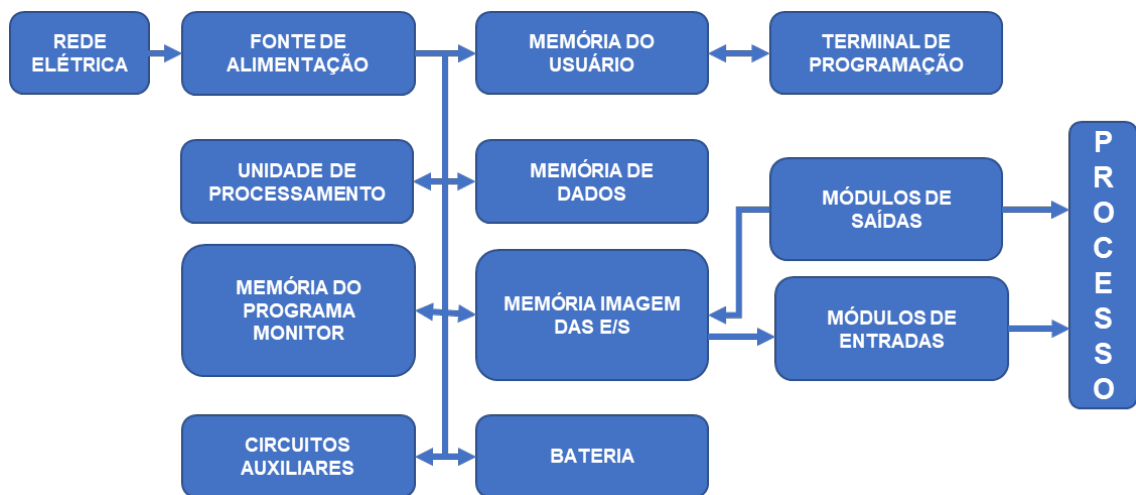


Fonte: Autor (2023).

2.4 Estrutura de um CLP

O CLP é um dispositivo eletrônico que possui um microprocessador, um programa monitor, memórias para armazenar o programa e os dados, além de ter interfaces para receber informações e enviar comandos para dispositivos externos, conforme figura 7. Também pode ter circuitos auxiliares para suporte ao seu funcionamento (ZANCAN, 2016).

Figura 7- Estrutura de um CLP.



Fonte: Autor (2023).

2.4.1 Módulos de E/S

Existem duas formas de integrar as entradas e saídas (E/S) em um Controlador Lógico Programável (CLP): fixa e modulada. A E/S fixa é comum em CLPs menores e é integrada no equipamento sem separação, sem unidades removíveis, apresentado na Figura 8. O processador e a E/S são montados juntos, e as conexões de E/S terão um número fixo de entradas e saídas embutidas (PETRUZELLA, 2014).

Figura 8- CLP E/S fixas.



Fonte: Instituto Metr pole Digital (2015).

A E/S modular, representada na Figura 9, é separada em compartimentos, onde os módulos podem ser conectados separadamente, aumentando significativamente as opções e a flexibilidade da unidade. Com isso, é possível escolher e misturar os módulos do fabricante de acordo com a necessidade e preferência (PETRUZELLA, 2014).

Figura 9- CLP E/S modulares.



Fonte: Instituto Metr pole Digital (2015).

Segundo Zancan (2016) as entradas e saídas de um CLP, são circuitos de interface que têm como objetivo realizar a adaptação dos sinais de entrada, de forma a torná-los compatíveis com a CPU para processamento, e dos sinais de saída, de forma a permitir que sejam transmitidos aos dispositivos que o CLP controla. Essa adequação elétrica é importante para garantir o correto funcionamento do sistema automatizado.

Normalmente, nas entradas do CLP (figura 10) são conectados sensores, sejam eles analógicos ou digitais, e comandos provenientes de outros dispositivos. Já nas saídas do CLP são conectados os atuadores. Os tipos de entradas e saídas variam dependendo da aplicação específica, os mais comuns incluem:

- *Módulos de E/S de sinais discretos:* este é o módulo de interface de entrada e saída mais comumente utilizado. Este tipo de módulo é utilizado para conectar dispositivos de entrada que possuem apenas dois estados possíveis, como chaves seletoras, botões de comando e chaves-limite. Estes dispositivos possuem natureza "liga/desliga" (PETRUZELLA, 2014).

Figura 10- Dispositivos de entrada e saída de E/S de sinais discretos.



Fonte: PETRUZELLA, 2014.p.22

A classificação de E/S discreta é baseada no *bit* de orientação de cada entrada e saída. Cada *bit* representa um elemento completo de informação que indica o estado de algum contato externo ou a presença/ausência de alimentação no circuito em processo. Os módulos de E/S discretos são alimentados por uma fonte de tensão fornecida no campo, que pode ser de diferentes tipos e valores. Por isso, esses módulos estão disponíveis com diversos valores de tensão nominal de corrente alternada (CA) e corrente contínua (CC) (PETRUZELLA, 2014).

As saídas digitais de um CLP são utilizadas para acionar diversos tipos de atuadores, tais como lâmpadas, contadoras, válvulas solenoides, motores, entre outros dispositivos. Elas podem ser classificadas em três tipos principais: saída por relé, saída por transistor e saída por tiristor (SANTOS JÚNIOR, 2019).

- **Módulos de E/S de sinais analógicos:** os dispositivos de E/S discretos possuem apenas dois estados, *on/off*, porém os dispositivos analógicos representam grandezas físicas que podem ter um número infinito de valores. As entradas e saídas analógicas podem ser sensíveis a corrente, que variam de 0 a 20 mA, ou a tensão, variando de 0 a 10V. O módulo de entrada analógico converte um sinal analógico de tensão ou corrente de um dispositivo transmissor em um sinal digital, para poder ser usado pelo processador, já o módulo de saída analógico converte um sinal digital em

um sinal analógico para acionar o dispositivo de saída (PETRUZELLA, 2014).

2.4.2 Fonte de alimentação

De acordo com Zancan (2016), a função da fonte de alimentação em um CLP é converter a tensão de entrada de alimentação de 110 a 220 Vca para as tensões necessárias para os circuitos eletrônicos, incluindo 5 Vcc para o microprocessador, memórias e circuitos auxiliares, e 12 Vcc para comunicação com o programador ou computador. Além disso, ela também é responsável por manter a carga da bateria e fornecer a tensão necessária para alimentar as entradas e saídas, que podem variar entre 12 ou 24 Vcc, dependendo do modelo do CLP.

2.4.3 Unidade de processamento

A CPU é um componente que está presente em todos os CLPs e pode ser encontrada como uma unidade única integrada no hardware. No entanto, nos CLPs modulares de rack, utiliza-se um módulo com *plug-in*. Geralmente, um módulo processador é composto por duas seções principais: a CPU, responsável por executar o programa e tomar decisões necessárias para o funcionamento do CLP e sua comunicação com outros módulos; e a seção de memória, que armazena eletronicamente o programa do CLP e outras informações digitais (PETRUZELLA, 2014).

Em um sistema de CLP, a CPU pode ser composta por mais de um processador, o que aumenta a velocidade das operações. Cada processador tem sua própria memória e programa, operando simultaneamente e de forma paralela e independente, reduzindo o tempo necessário para executar as tarefas do CLP. Com processadores duplos, o sistema pode ser configurado com redundância, desta forma, caso haja uma falha em um processador o controle será transferido para o segundo processador. Além disso, a unidade do processador geralmente vem equipada com LEDs indicadores de estado, que fornecem informações de diagnóstico para o operador (PETRUZELLA, 2014). Os modos de funcionamento são:

- *RUN*: é responsável por colocar o processador em modo de funcionamento, executando o programa *ladder* e energizando os dispositivos de saída. Nessa posição, a edição do programa direto (on-line) é impedida, assim como o uso de dispositivos de interface programador/operador;

- *PROG*: tem como função colocar o processador em modo de programação, permitindo que o programa possa ser editado. Nessa posição, é impedido que o processador e o controlador de saídas sejam desenergizados durante a varredura ou execução do programa;
- *REM*: é encarregado por colocar o processador no modo remoto, que pode ser o modo de Execução REMota, Programa REMoto ou Test REMoto. Nessa posição, é permitida a mudança do modo do processador através de um dispositivo de interface programador/operador. Além disso, na posição REM é possível editar um programa direto (on-line);

2.4.5 Memória do programa monitor

O responsável pelo funcionamento geral do CLP é o programa monitor, que gerencia todas as atividades do equipamento. Esse programa é armazenado em memórias especiais, como PROM, EPROM ou EEPROM, e não pode ser alterado pelo usuário. Sua função é semelhante à de um sistema operacional de computador, garantindo que o CLP opere de maneira adequada (ZANCAN, 2016).

2.4.6 Memória do usuário

É onde fica guardado o programa criado pelo usuário, que pode ser modificado para tornar a programação mais flexível. Esse programa é normalmente armazenado em diferentes tipos de memórias, como RAM, EPROM, EEPROM e FLASH-EPROM, com capacidades variando dependendo da marca e modelo do CLP utilizado (ZANCAN, 2016).

2.4.7 Bateria

A bateria usada em um Controlador Lógico Programável (CLP) tem como objetivo manter o fornecimento de energia para o circuito do relógio de tempo real e preservar os parâmetros ou programas, quando armazenados em memória RAM, mesmo em situações de falta de energia elétrica (ZANCAN, 2016). Alguns modelos de CLP possuem alertas sonoros ou visuais que indicam a necessidade de substituição da bateria.

2.4.8 Memória de dados

A memória de dados guarda as informações do programa criado pelo usuário, como valores de contadores, temporizadores, senhas, entre outros. Essa memória é comumente integrada à memória RAM do CLP.

2.4.9 Memória imagem das entradas e saídas

Esta memória registra o estado das entradas e saídas e serve como uma espécie de tabela onde a CPU acessa as informações contidas nela enquanto processa o programa do usuário.

2.4.10 Circuitos auxiliares

Os circuitos auxiliares são responsáveis por garantir a segurança e a confiabilidade do funcionamento do CLP. Eles têm como objetivo evitar falhas e proteger o sistema de possíveis erros que possam ocorrer durante a operação. Esses circuitos são projetados para prevenir o acionamento indevido das saídas quando o CLP é energizado, para evitar a perda de informações em caso de desenergização e para identificar erros de processamento, detectando falhas no microprocessador e emitindo informações de erro (ZANCAN, 2016).

Dessa forma, os circuitos auxiliares garantem que o CLP opere de maneira segura e eficiente, minimizando possíveis problemas e garantindo a integridade dos dados e do sistema.

2.5 Programação de CLPs

Até o início dos anos 90, as empresas encontravam problemas devido à falta de padronização nos CLPs. Nessa época, havia diversas variantes de linguagens de programação diferentes, e os dispositivos de cada fabricante possuíam regras distintas de funcionamento. Isso significava que as habilidades desenvolvidas pelos funcionários não podiam ser aplicadas caso houvesse a troca de um modelo de controlador por outro, o que resultava em perda de tempo e dinheiro com treinamento para as organizações (COSTA, 2022).

Com a intenção de padronizar os procedimentos adotados pelos diferentes fabricantes de CLPs, foi criada a norma IEC 61131. A terceira parte desta norma, a IEC 61131-3, trata da programação e estabelece cinco linguagens-padrão para os CLPs (COSTA, 2022):

- *Lista de Instruções (IL – Instruction List)*: Essa é uma linguagem de programação de baixo nível que se inspira no *Assembly* e utiliza um código alfanumérico com uma estrutura sequencial. Ela é pouco intuitiva e pode demandar muito tempo na busca por erros no programa. Alguns Controladores Lógicos Programáveis (CLPs) não permitem o uso dessa linguagem.
- *Texto Estruturado (ST – Structured Text)*: É uma linguagem de programação de alto nível, similar ao Pascal, Basic e C++. Ela possui todos os componentes fundamentais da programação moderna, incluindo instruções condicionais (*IF*, *THEN*, *ELSE* e *CASE*) e comandos de iteração (*FOR*, *WHILE*, *REPEAT*). Comparado com outras linguagens textuais, o Texto Estruturado é o mais completo e é frequentemente utilizado para criar blocos funcionais complexos.
- *Linguagem Ladder (LD – Ladder Diagram)*: A Linguagem *Ladder* foi a primeira linguagem criada para se programar um PLC. Sendo uma linguagem gráfica baseada em símbolos semelhantes aos encontrados nos esquemas elétricos, a Linguagem *Ladder* foi bem aceita por técnicos e engenheiros acostumados com sistemas de controle a relês. Até hoje, ela é provavelmente a linguagem mais utilizada. Essa linguagem é formada por degraus lógicos, que são representados por barras horizontais e símbolos de contatos e bobinas, enquanto as barras verticais são utilizadas para alimentação. Essa nomenclatura é atribuída ao seu formato semelhante a uma escada.
- *Diagrama de Blocos Funcionais (FBD – Function Block Diagram)*: Essa é uma linguagem de programação gráfica que utiliza blocos interligados para representar circuitos lógicos. Esses blocos podem conter elementos da eletrônica digital, como portas lógicas *and*, *or*, *not*, entre outros. A construção desses blocos pode ser feita a partir da linguagem de texto estruturado
- *Sequenciamento Gráfico de Funções – SFC (Sequential Function Chart)*: Baseia-se na ideia de que qualquer sistema pode ser descrito por uma sequência de eventos. Ela permite a descrição de ações sequenciais, paralelas e alternativas, e é composta por etapas separadas por transições.

Em cada etapa, há um conjunto de ações que precisam ser executadas e a transição só ocorre se as condições forem satisfeitas, tornando-se uma linguagem muito similar a um fluxograma.

2.6 Linguagem de programação ladder

Segundo De Moraes e De Castrucci (2018), “a linguagem de programação gráfica se apresenta ao programador como um verdadeiro esquema elétrico ou esquema de blocos”. Desta maneira, apresenta-se a linguagem de diagrama ladder ou Ladder Diagram (LD), como também é conhecida. Segundo o autor, esta é a linguagem de programação mais utilizada, assemelha-se a um esquema elétrico funcional. Seu nome designa-se literalmente da palavra “escada”, visto que visualmente os esquemas projetados fazem alusão à uma escada, onde cada degrau é denominado *rung*.

Da mesma maneira, de acordo com Prudente (2013), o nome da linguagem ladder deriva-se do inglês ladder, que significa “escada de degraus”, oriundo do formato particular da representação de seus esquemas. Usualmente, é denominada como “esquema de contatos”. O autor reforça que, “de todas as linguagens conhecidas hoje, é a mais empregada no campo internacional para programação do CLP”. Esta linguagem tem em sua composição uma série de sinais gráficos, onde se faz necessário possuir um conhecimento básico de lógica eletromecânica, haja vista da semelhança aos relés.

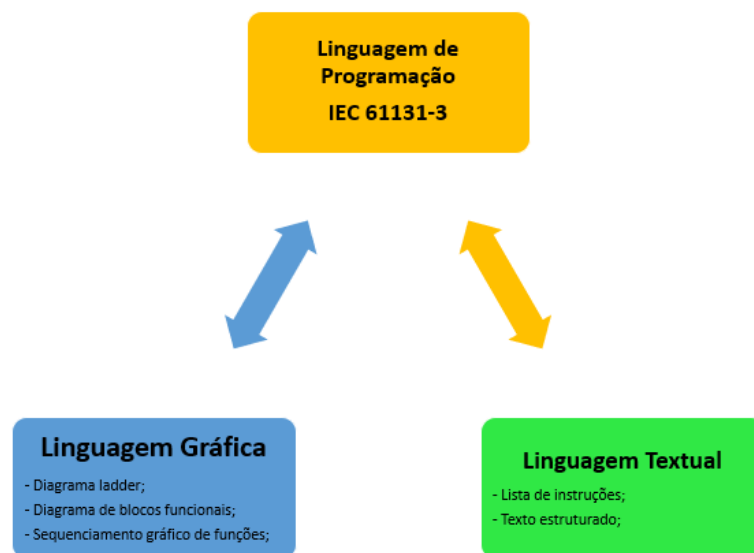
Para o autor Prudente (2013), o diagrama ladder inicia-se em duas linhas verticais, também chamadas de barra de alimentação. Então, cada representação de casualidade que se deseja verificar é feita por um alinhamento horizontal (formação de escadas, como o nome sugere). A linha horizontal é formada por pelo menos um elemento controlado (geralmente uma bobina de relé) e um conjunto de condições para o controle de tal elemento. Em linhas gerais, o diagrama Ladder é apenas uma representação lógica, que trabalha unicamente com símbolos, não considerando-se a tensão envolvida nas barras, e nem a intensidade de corrente que passa pelo circuito. Assim, segundo o autor, os contatos e demais dispositivos componentes do diagrama estarão em cada momento ora abertos ou fechados, enquanto as bobinas, conseqüentemente, ficarão desenergizadas ou energizadas. O autor remete ainda que o CLP examina a continuidade de cada uma das linhas e verifica se todas as

variáveis de entrada são verdadeiras, tratando-se da “continuidade lógica” própria de cada arranjo.

Segundo De Moraes e De Castrucci (2018), a linguagem ladder é “uma linguagem gráfica de alto nível que se assemelha ao esquema elétrico de um circuito de comando ou diagrama de contatos. No Ladder todos os tipos de instruções pertencem a dois grandes grupos: instruções de entrada e instruções de saída”. Por isso, entende-se como instruções de entrada as perguntas formuladas, e como instruções de saída, a execução de ações, realizadas em função das respostas afirmativas (sim/verdadeiro) ou negativas (não/falso) das instruções de entrada.

É de conhecimento que os sinais gráficos utilizados por esta linguagem de programação são padronizados pela Norma IEC 61131-3, derivando-se de uma simbologia de padrão americano (já em uso), para os esquemas funcionais. A norma supracitada resume em geral todas as modalidades de programação de CLP. Segundo Prudente (2013), de todas as linguagens de programação, pode-se classificá-las, de forma macro, em duas grandes categorias, conforme figura 11 são elas:

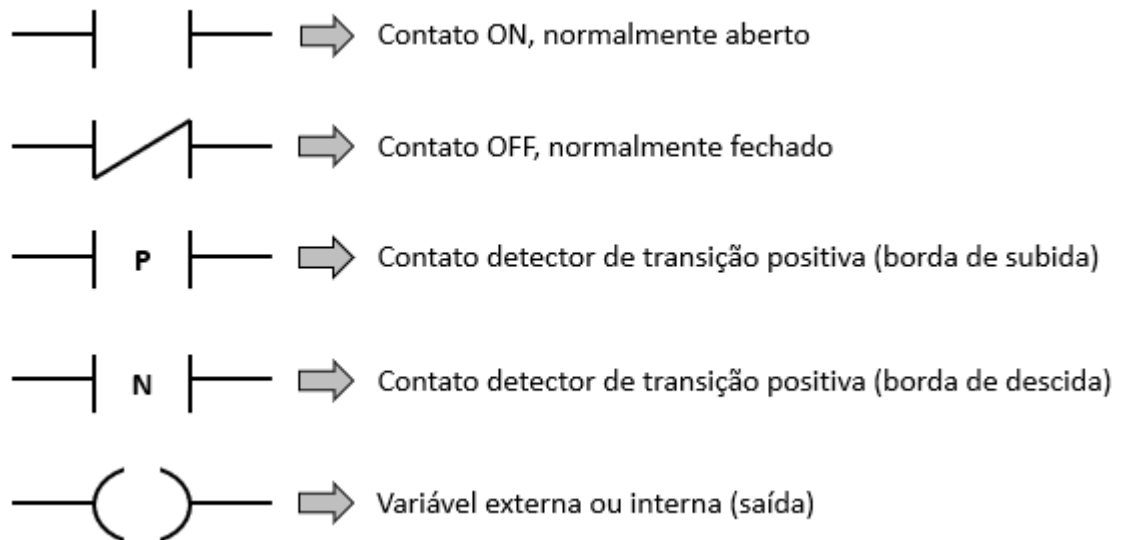
Figura 11- Síntese de linguagens de programação, segundo a IEC.



Fonte: Adaptado de Prudente (2013).

Basicamente, os esquemas ladder possuem em sua composição de estrutura, duas linhas verticais e das linhas horizontais, denominadas, escadas. Abaixo delas, são desenhados os elementos componentes do sistema a controlar, conforme apresentado na figura 12.

Figura 12- Síntese de contatos da linguagem ladder.



Fonte: Adaptado de De Moraes e De Castrucci (2018).

Outrossim, segundo De Moraes e De Castrucci (2018), o esquema ladder é composto pelos seguintes itens:

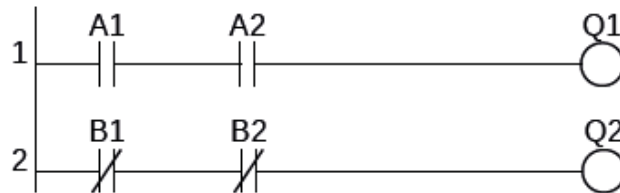
- Barra de alimentação (linha vertical esquerda), que comanda todos os elementos de input;
- Do retorno comum ou massa (linha vertical direita, que frequentemente é omitida), que conecta todas as variáveis de saída (output);
- Da zona de teste (ou zona de input). Nessa parte do esquema são desenhados os vários inputs em série e em paralelo em fechamento e abertura, segundo a lógica de evolução do processo;
- Da zona de ação (a zona de output), destinada à variável de saída;

2.6.1 Funções básicas da linguagem ladder

De acordo com Mendes (2021), a função “E” ou lógica booleana “E” pode ser implementada na linguagem ladder por dois ou mais contatos na mesma linha e em série. Destaca-se como uma das funções mais usuais nesta linguagem, e, para o modo estruturado de programação. De forma básica, conforme é apresentado na figura 13, na linha 1, dependendo da variável A1 ser verdadeiro, e se o contato A2 também for verdadeiro, então, a bobina Q1 é verdadeiro. Para que a bobina Q1 seja falsa é necessário que apenas um dos contatos (A1 ou A2) também seja falso. Ao observar-se a linha 2, onde verifica-se o emprego de contato normalmente fechado, tem-se que se o contato B1 for falso e o contato B2 também for falso, então, a bobina

Q2 será verdadeiro. Em contrapartida, para que a bobina 2 seja falsa, é necessário que apenas um dos contatos (B1 ou B2), seja verdadeiro.

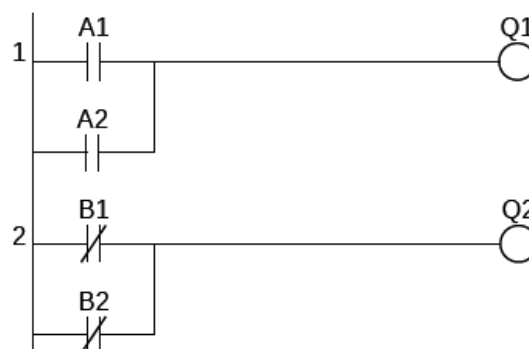
Figura 13- Representação da Função "E", linguagem ladder.



Fonte: Retirado de Mendes (2021).

De acordo com o Mendes (2021), a função “OU” ou lógica booleana “OU” pode ser implementada na linguagem ladder por dois ou mais contatos na mesma linha, de forma paralela. Tal função é empregada quando qualquer um de dois ou mais eventos podem ativar uma variável interna ou mesmo, uma saída. Observa-se que na linha 1 deste diagrama, se o contato A1 for verdadeiro ou o contato A2 for verdadeiro, então a bobina Q1 é verdadeira. Desta maneira, para que a bobina Q1 seja falsa, se faz necessário que os dois contatos (A1 e A2) também sejam falsos. Não obstante, na linha 2, se os contatos B1 ou B2 forem falsos, então, a bobina Q2 é verdadeiro, por tratar-se de contato normalmente fechado. Para que a condição de Q2 ser falsa na linha 2, faz-se necessário que os dois contatos (B1 e B2) sejam verdadeiros, conforme apresenta-se na figura 14.

Figura 14- Representação da Função "OU", linguagem ladder.

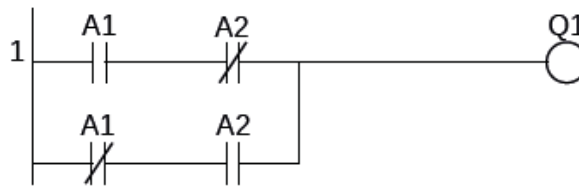


Fonte: Retirado de Mendes (2021).

De acordo com Mendes (2021), a função “OU-Exclusivo” pode ser implementada na linguagem ladder por dois contatos em série e em paralelo a mesma linha. Tal função é empregada quando dois eventos não podem ocorrer em

simultâneo. Conforme apresentado na figura 15, na linha 1, observa-se que se o contato A1 for verdadeiro e o contato A2 for falso, ou se o contato A1 for falso e o contato A2 for verdadeiro, então a bobina Q1 é verdadeira. A condição para que a bobina Q1 seja falsa é possível quando os dois contatos (A1 e A2) sejam ambos falsos, ou ambos verdadeiros.

Figura 15- Representação da Função "OU-Exclusivo", linguagem ladder.



Fonte: Adaptado de Mendes (2021).

2.7 Interfaces Homem-Máquina (IHM)

A Interface homem-máquina (IHM) é um dispositivo que se comunica diretamente com o Controlador Lógico Programável (CLP) utilizado em instalações industriais para monitorar e controlar máquinas e processos. A IHM permite que o operador interaja com o sistema controlado, receba informações e realize intervenções para manter a segurança, o bom funcionamento e a disponibilidade dos serviços. Ela é composta por um visor, teclas e botões para navegação e inserção de dados, barramentos para placas de expansão, portas de comunicação e software (PAREDE e GOMES, 2011).

A IHM é uma tecnologia que oferece uma integração eficaz entre o operador e o equipamento de monitoramento e controle. A utilização de dispositivos como botoeiras, sinaleiros e instrumentos indicadores de painel requer a montagem de grandes painéis com muitos fios, limitando a flexibilidade em caso de alterações no processo. A IHM simplifica esse processo, permitindo que o operador monitore e altere a maioria dos operandos do CLP por meio de telas pré-programadas, que podem ser reprogramadas para criar estratégias de interação operador-máquina. A IHM pode ser conectada ao Controlador Lógico Programável através de apenas um par de fios, sem necessidade de nova instalação de fiação ou adição de sinais e instrumentos ao painel (PAREDE e GOMES, 2011).

Existem modelos simples e sofisticados de IHM, sendo que os avançados permitem criar telas coloridas exibindo diagramas de partes do processo e atuar por

meio de botões virtuais. A IHM normalmente é programada pelo mesmo software que programa o CLP e é configurada como escrava dele, facilitando sua utilização e integração com o sistema de monitoramento e controle (PAREDE e GOMES, 2011), conforme figura 16.

Figura 16- Modelos de IHM da fabricante Samkoon.



Fonte: Manual Samkoon (2023).

2.7.1 Tipos de IHM

Os tipos mais comuns de IHM incluem: Aquelas com teclado e display de sete segmentos; Tela de LCD e teclado de funções; Terminais de vídeo e terminais de vídeo com tela sensível ao toque, conforme apresenta-se como exemplo na figura 17.

Figura 17- Modelo de IHM teclado e display de sete segmentos.



Fonte: Delta Electronics (2023).

Apresenta diversas aplicações no ambiente industrial, como a visualização de alarmes e erros gerados por condições anormais do sistema, a visualização de dados dos equipamentos e produção de um processo, além da possibilidade de alterar parâmetros e modos de controle do processo. Essa interface permite que o operador

monitore e controle o processo de forma mais eficiente, podendo tomar decisões mais rápidas e precisas (MORAES; CASTRUCCI, 2007).

Existem duas categorias de IHMs: as passivas, que monitoram o *status* das máquinas sem intervir no processo e geralmente não possuem processador interno, e as ativas, que fazem parte do processo e possuem processador interno. Alguns modelos de IHM possuem parte do *software* aplicativo armazenado e podem se conectar a vários CLPs em rede (PAREDE; GOMES, 2011).

3 METODOLOGIA

Conforme é aplicado em Celaro *et al.* (2018) “a associação de teoria à prática consiste num processo extremamente relevante na discussão do conhecimento no ensino das engenharias”. Desta maneira, para embasamento desta pesquisa, primeiramente, foi conduzida uma revisão bibliográfica aprofundada de modo a abordar o assunto em fontes como livros, repositórios, artigos científicos, dissertações, teses, manuais de instruções relevantes para a pesquisa e interações com os dispositivos estudados. Em sequência, estruturou-se o método de execução, conforme apresentado no item 3.1, onde teoria e prática foram associadas.

Para esta pesquisa, adotou-se abordagem qualitativa para construção de basicamente todo o trabalho, e a abordagem quantitativa (de forma não dominante), empregada no final da pesquisa, apenas para confirmação de resultados. Caracteriza-se como pesquisa aplicada, por tratar-se da aplicação prática de conhecimentos disponíveis para elaboração e construção da proposta, conforme objetivos propostos.

3.1 Método

Nessa perspectiva, o caminho percorrido para a investigação e realização do estudo, deu-se inicialmente com a revisão bibliográfica. Posteriormente elaborou-se, com o intuito de facilitar o desenvolvimento do projeto, um mapa mental, representada na Figura 18. Norteado pelo mapa mental, foi realizado as seguintes etapas neste trabalho:

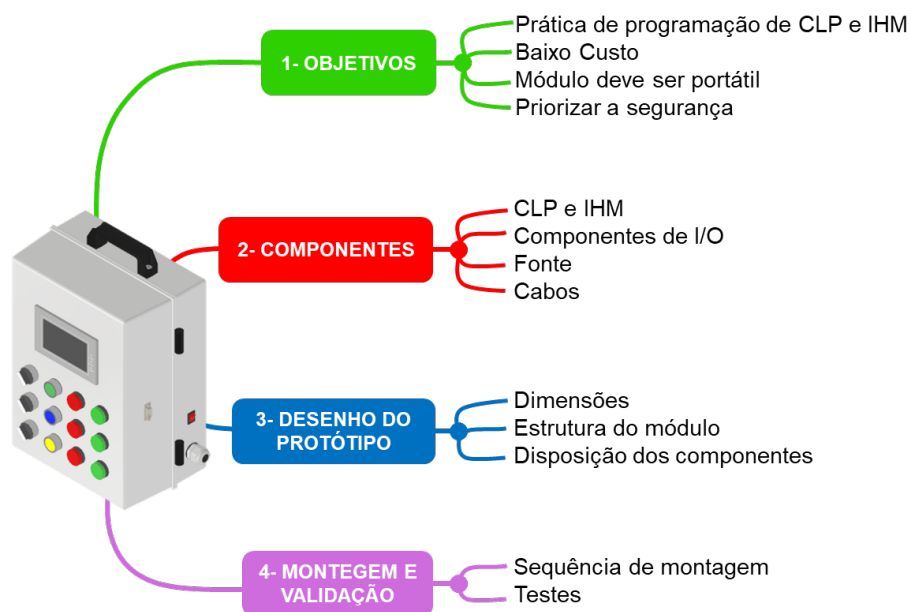
- *Definição dos objetivos:* Durante a definição dos objetivos, a preocupação é que: eles sejam claros e precisos, visto que será essencial para orientar todas as outras etapas do projeto, desde a

seleção dos materiais e componentes até a montagem e teste do módulo didático.

Foi definido que módulo didático deverá proporcionar uma boa experiência ao usuário, simulando processos industriais a partir de chaves, botões e sinaleiros para reproduzir os sinais de entrada e saída (no mínimo 4 entradas e 4 saídas digitais). Ademais, devem ser evitados circuitos de alta tensão para reduzir o risco de choques elétricos, visando a segurança dos alunos. E, por fim, o módulo deverá ser portátil (de modo a permitir sua operação não apenas em um ambiente de laboratório) e de baixo custo, quando fabricado de modo artesanal.

- *Escolha dos componentes elétricos:* Com os objetivos definidos, foi realizada uma pesquisa exploratória para definir os componentes necessários para compor o módulo didático, respeitando os requisitos da etapa 1.
- *Desenho do protótipo:* Nesta etapa foi realizado a definição das dimensões do módulo, a disposição dos componentes elétricos, escolha da estrutura e componentes estruturais.
- *Montagem e Validação do módulo:* Por fim a montagem do módulo didático e os testes.

Figura 18- Mapa mental para execução do projeto.



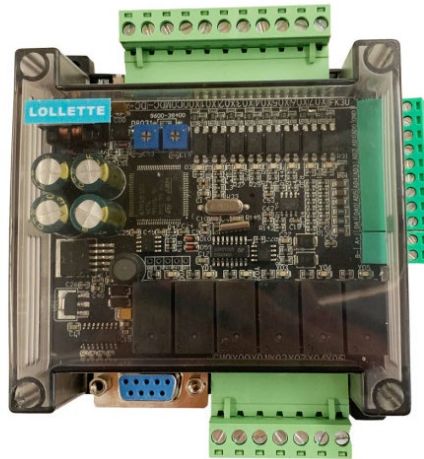
Fonte: Autor (2023).

3.1 Materiais utilizados

Neste subtópico e nos próximos de seção, será apresentado, de forma detalhada, todos os materiais utilizados na confecção da proposta de módulo didático.

3.1.1 Controlador Lógico Programável- LE3U

Figura 19- Controlador Lógico Programável LE3U.



Fonte: LOLLETTE (2023)

Neste trabalho foi utilizado o CLP LE3U (figura 19), modelo LE3U-14MR6AD2DA da marca LOLLETTE. As suas principais características são:

- Tensão de alimentação: 24 VCC.
- Entradas digitais: 8.
- Saídas digitais: 6.
- Tipo de saídas: relé.
- Capacidade de saída: 5A, 250 VAC.
- Portas analógicas: 6.
- Portas de comunicação: RS232, Portas de comunicação: RS485.
- Suporta IHM: Sim.
- UCM: 32 bits.
- Velocidade: 3 kHz.
- Capacidade do programa: 8.000 linhas de LADDER.
- Montagem em trilho DIN: Sim.

3.1.2 IHM Samkoon- EA-043A

Figura 20- IHM Samkoon- EA-043A.



Fonte: Samkoon (2023)

A IHM selecionada para o projeto foi fabricado pela Samkoon, modelo EA-043A. É um painel de tela sensível ao toque de 4,3 polegadas, projetado para fornecer uma interface amigável ao usuário para controlar e monitorar várias aplicações de automação industrial.

O Samkoon EA-043A está equipado com um sistema operacional Linux incorporado, que oferece uma plataforma estável e confiável para a execução de aplicativos. Das características fornecidas pelo fabricante, destacam-se:

- Tamanho do display: 4,3" (16:9)
- Resolução: 480× 272 pixels
- Tela: Sensível ao toque.
- Cor: 262.114 cores
- Retroiluminação: LED
- Relação de contraste: 400:1
- Luminosidade: 400cd/m²
- Memória: 128M FLASH + 32M DDR2
- CPU: ARM9 200MHz
- Grau de proteção: IP65 (Painel frontal)
- Alimentação: DC24V (+/-15%)
- Porta serial: COM: RS232/422/485
- USB-A: Sim

- Temperatura de operação: -20 ~ 65°C
- Umidade de operação: 10 ~ 90%RH

3.1.2 Chaves comutadoras

As chaves comutadoras são dispositivos que permitem selecionar uma opção específica entre várias possibilidades. Elas são projetadas com múltiplas posições e são usadas para controlar diferentes funções ou configurações em um sistema. Geralmente, as chaves seletoras são rotativas ou deslizantes, permitindo ao usuário escolher a posição desejada, conforme apresentado na figura 21.

Figura 21- Chave comutadora da fabricante Schneider



Fonte: Schneider Electric (2023).

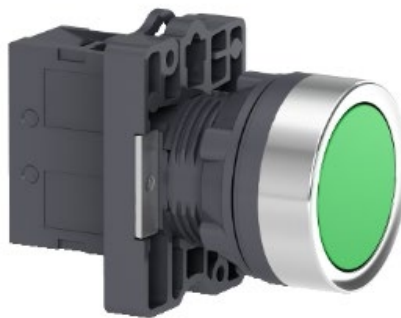
Para o trabalho foram escolhidas três chaves comutadoras da fabricante Schneider Electric, modelo XA2ED21. Abaixo está listado suas principais características.

- Contatos: 1NA.
- Cor: Preto.
- Diâmetro: 22mm.
- Formato: Redondo.
- Índice de Proteção: IP65.
- Material: Plástico.
- Tipo: Manopla Curta.
- Quantidade de Posições: 2 Posições.

3.1.3 Botões de pulso

Os botões de acionamento (figura 22) são dispositivos utilizados para iniciar ou interromper um processo ou sistema. Eles são projetados para serem pressionados manualmente e são amplamente utilizados em diversas aplicações, desde equipamentos eletrônicos até máquinas industriais. Existem vários tipos de botões de acionamento, os mais usados são os pulsadores, alternância e os de emergência.

Figura 22- Botão de acionamento da fabricante Schneider Electric.



Fonte: Schneider Electric (2023).

Para o trabalho foram escolhidos os botões de acionamento da fabricante Schneider Electric, modelo XA2EA das cores verde, azul e amarela. Abaixo está listado as principais características do produto.

- Contatos: 1NA.
- Diâmetro: 22mm.
- Tipo de acionamento: Por mola.
- Formato: Redondo.
- Índice de Proteção: IP65.
- Material: Plástico.
- Tipo: Faceado.

3.1.4 Sinalizador

Um sinaleiro elétrico (figura 23), também conhecido como sinalizador elétrico, é um dispositivo utilizado para fornecer indicações visuais sobre o estado, condição ou ação em um sistema elétrico. Eles são amplamente utilizados em diversas aplicações, desde automação industrial até sistemas de sinalização e segurança.

Figura 23- Sinalizador SIBRATEC- modelo AD22-G2.



Fonte: SIBRATEC (2023).

Foram utilizados no projeto do módulo didático seis sinalizadores, três vermelhos e três verdes, da fabricante SIBRATEC, modelo AD22-R2 e AD22-G2 respectivamente. Suas características técnicas são:

- Tensões: 24Vcc/Vca.
- Corrente Nominal: < 20mA.
- Iluminação: 60 cd/cm².
- Vida útil: >= 30.000 Horas.
- Material: Plástico.
- Grau de Proteção: IP65.

3.1.5 Interruptor Liga/desliga

Para ligar o módulo optou-se por fazer o uso do interruptor com LED da marca DAIER, modelo KCD4-201N 4T, conforme apresentado na figura 24.

Figura 24- Interruptor da fabricante DAIER.



Fonte: Autor (2023).

Especificações:

- Quantidade de posições: 2 posições.
- Tipo de chave: Gangorra.
- Corrente Máxima: 20A em 125VAC / 16A em 250VAC.
- Temperatura de Trabalho: -25°C a +85°C.
- Dimensões: 30,6mm x 25,5mm x 36,5mm.
- Peso: 11,8g.

3.1.6 Fonte de alimentação

A principal função de uma fonte de alimentação (figura 25) é fornecer a energia necessária para o funcionamento adequado dos componentes eletrônicos. Ela fornece tensão elétrica estável e corrente suficiente para atender aos requisitos de cada componente.

Figura 25- Fonte da fabricante Hanyoung- HNPS50S-24-T.



Fonte: Autor (2023).

A fonte utilizada no projeto foi a da fabricante coreana Hanyoung, modelo HNPS50S-24T.

- Modelo: HNPS50S-24-T;
- Corrente de saída: 2,1 A;
- Tensão de saída (Vcc): 24 V;
- Potência: 50 W;

- Tolerância de saída: $\pm 10\%$;
- Tensão de entrada: 100VAC a 240VAC.
- Frequência de entrada: 50/60Hz.
- Conexão de saída: Borne com Parafuso.
- Conexão de entrada: Borne com Parafuso.

3.1.7 Gerador de Sinal

Com o objetivo de simular os sinais analógicos, foi integrado ao módulo o gerador de sinal ajustável da marca OneBusi, modelo HXHDBOXAO, conforme figura 26.

Figura 26- Gerador de sinal OneBusi.



Fonte: Autor (2023)

Este é um dispositivo de geração de sinais analógicos, que pode ser usado em uma ampla variedade de aplicações industriais e de laboratório. Podendo operar em modo de tensão ou corrente, selecionáveis por meio de uma chave seletora. A faixa de tensão pode variar de 0 a 10V ou de 2 a 10V, enquanto a faixa de corrente pode ser ajustada de 0 a 20mA ou de 4 a 20mA.

Especificações:

- Tensão de operação: 15 a 27V DC / 5V (Micro USB).
- Faixa de tensão de saída: 0 a 10V DC / 2 a 10V DC.
- Requisito da impedância no modo tensão: 2 kOhms.
- Faixa de corrente de saída: 0 a 20mA / 4 a 20mA.

- Requisito da impedância no modo corrente: 500 Ohms.
- Tamanho: 85 x 50 x 22mm.

Descrição dos Bornes:

- PWR: Fonte 15 a 27V DC.
- GND: Terra.
- V0: Saída analógica da tensão.
- mA0: Saída analógica de corrente.

3.1.8 Outros componentes

A figura 27 apresenta alguns componentes que foram integrados ao projeto, com o intuito de facilitar a ligação elétrica do módulo didático:

Figura 27- Componentes para simplificar as ligações.



Fonte: Autor (2023).

Além dos componentes já citados, fez-se o uso de cabos elétricos, terminais isoladores tubular, um cabo de força e abraçadeiras.

3.2 Desenho do protótipo

Nesta etapa foi realizado a definição das dimensões do módulo, a disposição dos componentes e a escolha da estrutura. Para evitar erros de montagem, optou-se por projetá-lo com o auxílio da modelagem 3D, detalhado o suficiente para permitir a fabricação do protótipo.

3.2.1 Modelagem 3D

A modelagem 3D é uma técnica fundamental para projetos em várias áreas, pois permite criar representações visuais precisas e realistas de um projeto. Isso ajuda os projetistas visualizarem como o projeto final ficará antes mesmo de ser construído permitindo fazer simulações, reduzindo retrabalhos e erros. Nesse trabalho será utilizado o *software* de modelagem 3D Autodesk Inventor, conforme apresenta-se na figura 28. Inicialmente pensou-se em fabricar a estrutura do módulo semelhante aos encontrados no mercado.

Figura 28- Kit Didático Treinamento em CLP – Widetech.

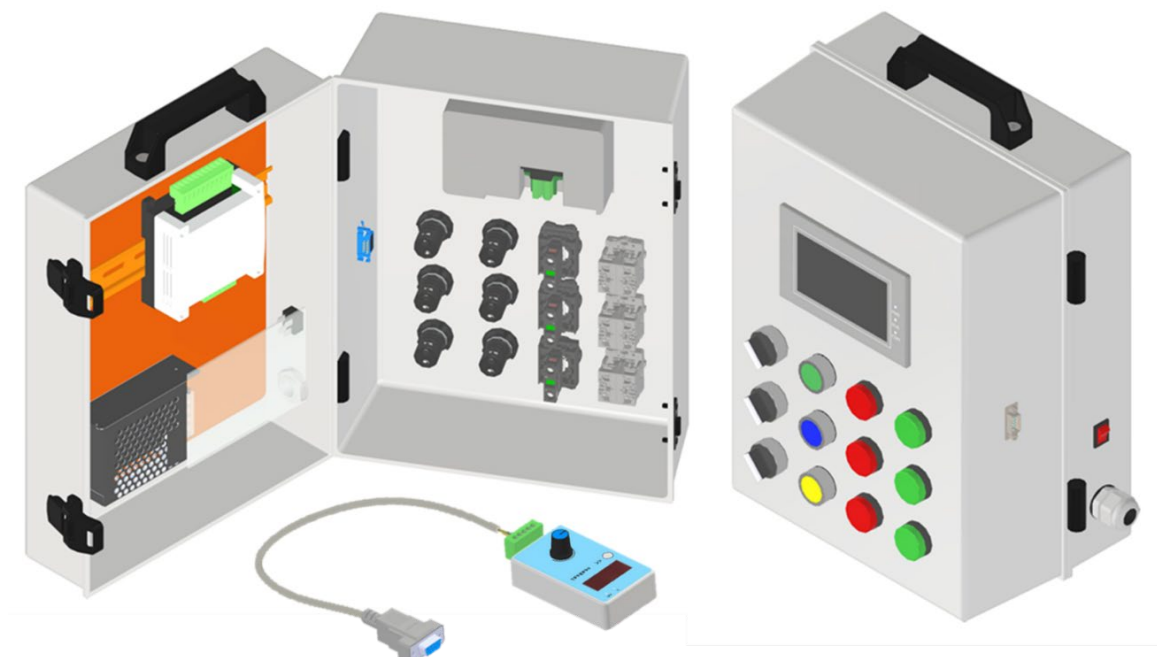


Fonte: Widetech (2023).

Devido à natureza do material utilizado neste kit didático, ele acaba se tornando pesado, o que pode ser inconveniente durante o transporte em longas distâncias. Portanto, ele não atende totalmente à portabilidade estabelecida como objetivo neste trabalho.

Dessa forma, optou-se por utilizar uma caixa de montagem elétrica visando reduzir o peso e o custo do projeto. Levando em consideração as dimensões dos componentes previamente conhecidas, realizou-se um cálculo simples de área para selecionar as dimensões que a caixa teria que atender. Posteriormente, foi desenvolvida a modelagem 3D do módulo didático (figura 29), com a caixa selecionada e todos os outros componentes.

Figura 29- Modelagem 3D do módulo didático.



Fonte: Autor (2023).

A partir do modelo 3D, foi gerado o desenho de montagem e o desenho do gabarito, conforme apêndice A e B respectivamente. No desenho de montagem, são apresentadas as posições específicas onde os componentes elétricos devem ser instalados, e exibe todos os itens usados na montagem. O desenho ortográfico do gabarito detalha as posições em que as perfurações devem ser feitas na caixa de comando.

3.2.2 Componentes estruturais

A caixa de montagem elétrica (figura 30) é a peça principal da estrutura, sendo responsável por abrigar todos os componentes do módulo didático. Para o protótipo optou-se por fazer o uso da caixa de montagem da fabricante Schuhmacher. A escolha desse componente foi baseada na necessidade específica do dimensionamento, evitando tanto um excesso de espaço quanto a falta dele.

Figura 30- Quadro plástico Schuhmacher.



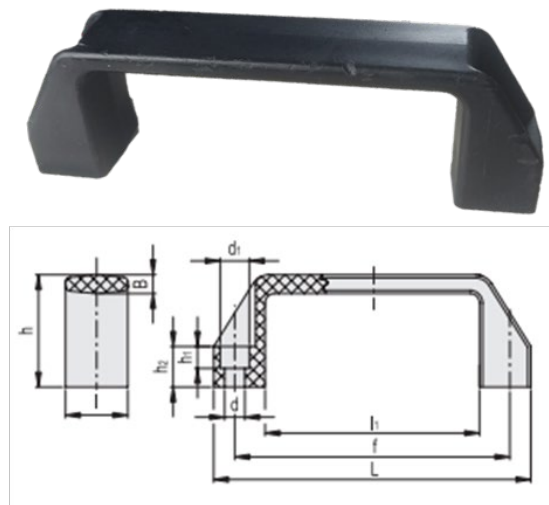
Fonte: Autor (2023).

Especificações:

- Descrição: Código: 21.25.08.
- Cor Base: Cinza.
- Cor Tampa: Cinza.
- Fechamento: Utiliza dobradiças e fechos plásticos.
- Vedação: Possui vedação de borracha *oring*.
- Grau de Proteção: IP65.
- Placa de Montagem: Plástico.
- Dimensões (mm): 350x260x130.

Com a preocupação de tornar o módulo facilmente transportável, foi selecionado o puxador da fabricante elesa+Ganter, modelo M.433, conforme é apresentado na figura 31.

Figura 31- Puxador da fabricante elesa+Ganter.



Fonte: Autor (2023)

Especificações:

- Código: 150011.
- Descrição: M.443/ 140 AE-V0
- Principais dimensões: $L=137$; $l_1=93$; $f=117$; $d=8,5$; $d_1= 13.5$; $h=41$.
- peso: 50g.
- Material: Poliamida reforçada com fibra de vidro (PA) *tecnopolímero*.
- Cor: Preta
- Acabamento: Fosco

Para evitar possíveis cortes e tensões mecânicas casuais no cabo de alimentação da rede, evitando riscos de curto-circuito, foi usado um conector prensa cabo da marca STECK, modelo S801CI (figura 32).

Especificações:

- Material: Nylon;
- Material vedação: Fortiprene;
- Cor: Cinza;
- Rosca: Curta - PG 11;
- Diâmetro do Cabo (mínimo/ máximo): 5 mm/10 mm;
- Chave: 22;

- Proteção: IP67.

Figura 32- Conector prensa cabo STECK.



Fonte: Autor (2023).

Para a fixação do CLP no módulo, foi utilizado o trilho DIN da marca Dutoplast (figura 33). O trilho DIN oferece uma solução prática e padronizada para a fixação e organização dos componentes, garantindo uma instalação segura e eficiente.

Figura 33- Trilho DIN da Dutoplast.



Fonte: CASADORELE (2023).

Especificações:

- Modelo: DIN-20.
- Material: PVC e ABS.
- Dimensão: 20cm.

O módulo foi projetado e desenvolvido com ênfase na segurança, sendo que todo o comando é executado com uma tensão de 24V. No entanto, durante a elaboração do desenho, identificou-se um ponto de risco na conexão entre a rede

elétrica e a fonte de alimentação. Para eliminar esse risco, decidiu-se isolar essa área por meio da utilização de uma chapa de acrílico com dimensões de 2x90x130 mm.

3.3 Montagem

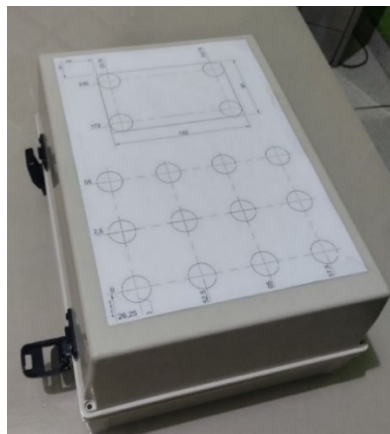
Neste tópico, discutiremos o processo de montagem do módulo didático realizado com base na etapa 3, respeitando o desenho do protótipo. O primeiro passo consistiu na perfuração da caixa de montagem elétrica, a fim de embutir os componentes necessários. Em seguida, os componentes foram cuidadosamente instalados na caixa, seguindo o desenho de montagem do anexo A. Uma vez concluída a montagem dos componentes, foi realizado o processo de ligação elétrica entre eles, seguindo o diagrama unifilar, representado no anexo C e D. A montagem e a ligação elétrica dos componentes são essenciais para o bom funcionamento do módulo didático, garantindo que ele cumpra seu propósito educacional de maneira eficiente.

3.3.1 Procedimento de furação e montagem dos componentes

A perfuração da caixa de montagem elétrica, foi o primeiro passo no processo de montagem do módulo didático. Nessa etapa, foram feitos os furos necessários na caixa para acomodar os componentes de forma organizada e segura.

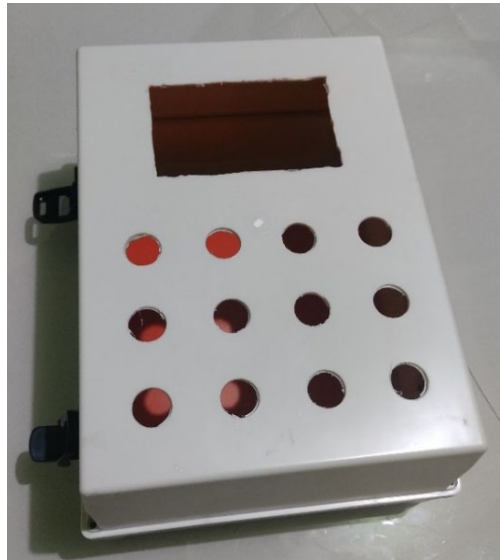
Utilizou-se impresso em uma folha A4 o desenho do gabarito da parte frontal do módulo, posicionado e fixado com fita adesiva no local especificado em desenho, evitando erros durante o processo. Para a execução do trabalho, foi necessário o uso de uma furadeira equipada com uma serra copo de 22mm, bem como uma serra de mão, conforme figura 34 e 35.

Figura 34- Gabarito fixado na caixa de comando.



Fonte: Autor (2023).

Figura 35- Caixa de comando após processo.



Fonte: Autor (2023).

O passo seguinte adotado, foi a realização da montagem dos componentes em suas posições, especificadas no desenho de montagem. A imagem a seguir (figura 36) mostra os itens embutidos após a conclusão processo.

Figura 36- Caixa com os componentes embutidos.



Fonte: Autor (2023).

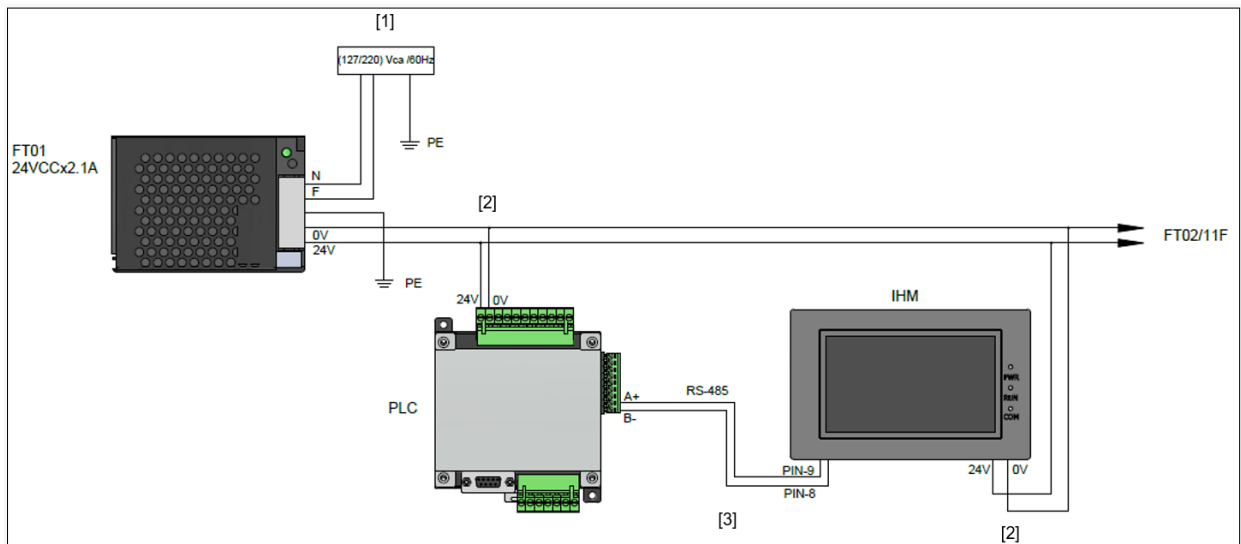
3.3.2 Processo de ligação elétrica.

Existem diversas opções de software disponíveis para a criação de diagramas elétricos. Um exemplo notável é o AutoCAD Electrical, desenvolvido pela Autodesk e

projetado especialmente para projetos elétricos. Essa ferramenta oferece recursos específicos para a elaboração de diagramas unifilares, além de disponibilizar símbolos elétricos, gerar listas de materiais e muito mais. No entanto, devido à indisponibilidade da ferramenta adequada, neste trabalho foi utilizado o Autodesk Inventor para a elaboração do diagrama elétrico em questão.

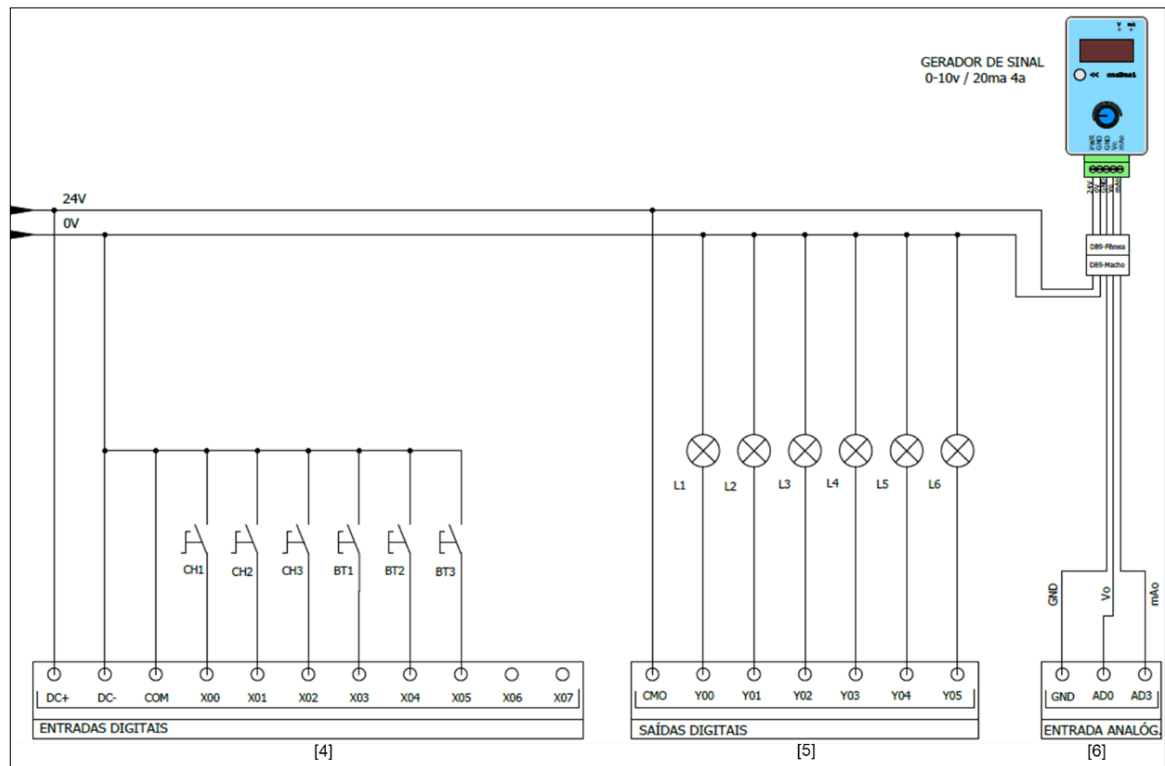
Embora os dispositivos mostrados no diagrama não correspondam exatamente à disposição real, é essencial que o esquema forneça condições que permitam interpretar as conexões dos elementos presentes no circuito de forma precisa. A seguir na figura 37 e 38, serão mostrados diagramas representando as conexões, como nas conexões físicas, que auxiliaram durante o processo de montagem.

Figura 37- Diagrama 1.



Fonte: Autor (2023).

Figura 38- Diagrama 2.



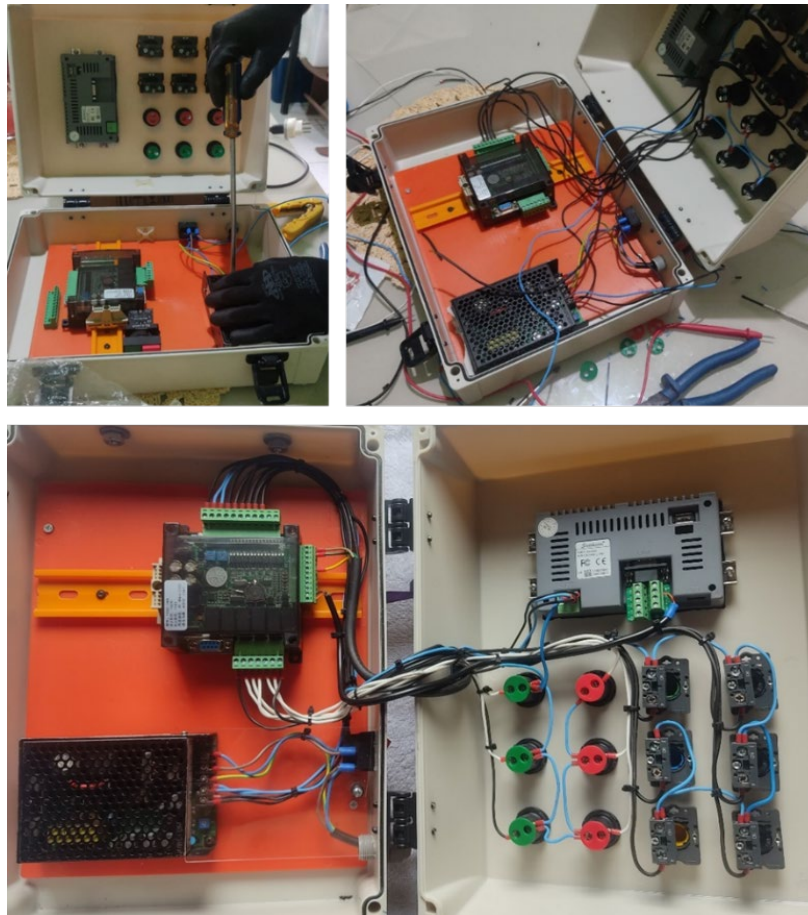
Fonte: Autor (2023).

Respeitando o diagrama unifilar, o processo de montagem do circuito elétrico do módulo didático seguiu-se por partes:

- **Parte [1]:** Ligação do cabo de força com a fonte de alimentação FT01.
- **Parte [2]:** Conexão da fonte de alimentação ao CLP LE3U e IHM EA-43^a.
- **Parte [3]:** Interligação física para a comunicação *ModBus*.
- **Parte [4]:** Ligação das chaves seletoras e botões de pulso às entradas digitais.
- **Parte [5]:** Conexão dos sinalizadores às saídas digitais.
- **Parte [6]:** Interligação do chicote com o DB9 Macho às entradas analógicas e à alimentação.
- **Parte [7]:** Interligação do chicote com o DB9 fêmea ao gerador de sinal analógico.
- **Parte [8]:** Organização dos cabos.

Nas figuras 39 e 40 pode-se visualizar todo processo, do início ao fim, de montagem do circuito elétrico.

Figura 39- Processo de ligação do módulo didático.



Fonte: Autor (2023).

Figura 40- Ligação do chicote ao gerador de sinal.



Fonte: Autor (2023).

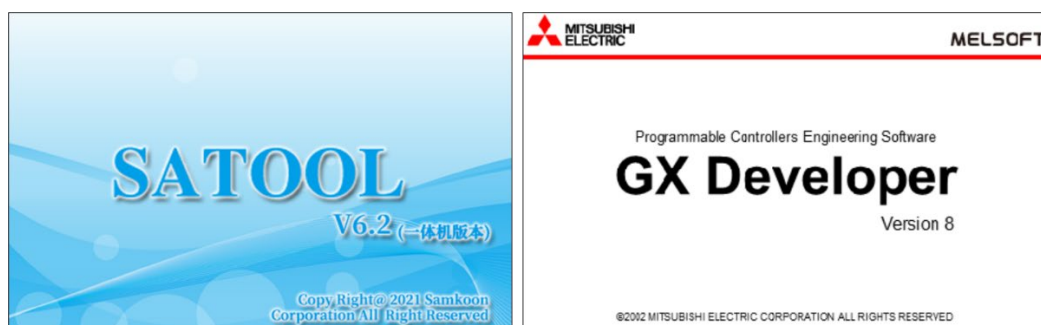
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Por meio da concretização do projeto físico, foi possível constatar a funcionalidade do módulo didático para o estudo de Controladores Lógicos Programáveis (CLP) e Interfaces Homem-Máquina (IHM). Os testes com o protótipo proporcionaram a visualização prática do projeto, evidenciando que o módulo oferece aos alunos a oportunidade de vivenciar na prática os conceitos aprendidos em sala de aula. Em geral, o sistema se mostrou eficiente quanto ao seu propósito.

4.1 Síntese do módulo didático

Para realizar a configuração do módulo didático foi necessário a instalação do *software* de programação *GX Developer* versão 8, utilizado para o CLP LE3U, e do *software* SATOOL versão 6.2, para programar o IHM Samkoon-EA-043^a, conforme é apresentado na figura 41. Os softwares e manuais podem ser encontrados e baixados no site da própria fabricante. Reforça-se o módulo didático é compatível com ambos os softwares, sem limitações.

Figura 41- Programas usados no módulo didático.



Fonte: Autor (2023).

Consoante ao projeto estruturado no planejamento, o resultado da execução foi um módulo inteiramente portátil, quadrado de dimensões 350x260x170mm, com peso estimado de 2,8KG. O módulo funciona com alimentação 110V, e possui comprimento do cabo de 1,20m. Possui estrutura para execução das seguintes funções básicas da linguagem ladder testadas:

- Contato Normalmente Fechado (NF);
- Contato Normalmente Aberto (NA);
- Função E;

- Função OU;

Além de todas as verificações descritas nos itens subsequentes, também se executou um teste de entrada analógica e simulação de leitura de um senso de temperatura.

4.2 Teste inaugural

O procedimento que antecedeu o início de testes consistiu na checagem das conexões elétricas. Após a verificação, o teste inaugural teve como alvo analisar a integridade funcional do módulo didático, através da implementação das seguintes funções básicas da linguagem *ladder*:

- Contato Normalmente Fechado (NF).
- Contato Normalmente Aberto (NA).
- Função E.
- Função OU. A intenção do teste foi.

4.2.1 Função Normal Aberta (NA).

Ao configurar o programa para executar a lógica, verificou-se que a saída Y3 só era acionada quando a entrada X0 estava no estado lógico alto e permanecia desativada quando a entrada X0 estava no estado lógico baixo. Sabendo que o sinal de entrada é igual ao sinal de saída para a função NA, logo, o módulo apresentou o funcionamento correto para a função, conforme figura 42. Apresentado na figura abaixo.

Figura 42- Checagem de funcionamento Função NA.



Fonte: Autor (2023).

4.2.2 Função Normal Fechada (NF).

Observou-se que, na função NF, quando X0 estava em alto nível, a saída Y3 estava desativada. E quando X0 estava em baixo nível, a saída Y3 estava ativada. Conforme ilustrado na figura 43. Levando em consideração que, para a função NF, o estado da saída digital é inverso ao da entrada digital, conclui-se que o módulo apresentou o resultado correto para essa função.

Figura 43- Checagem de funcionamento Função NF.

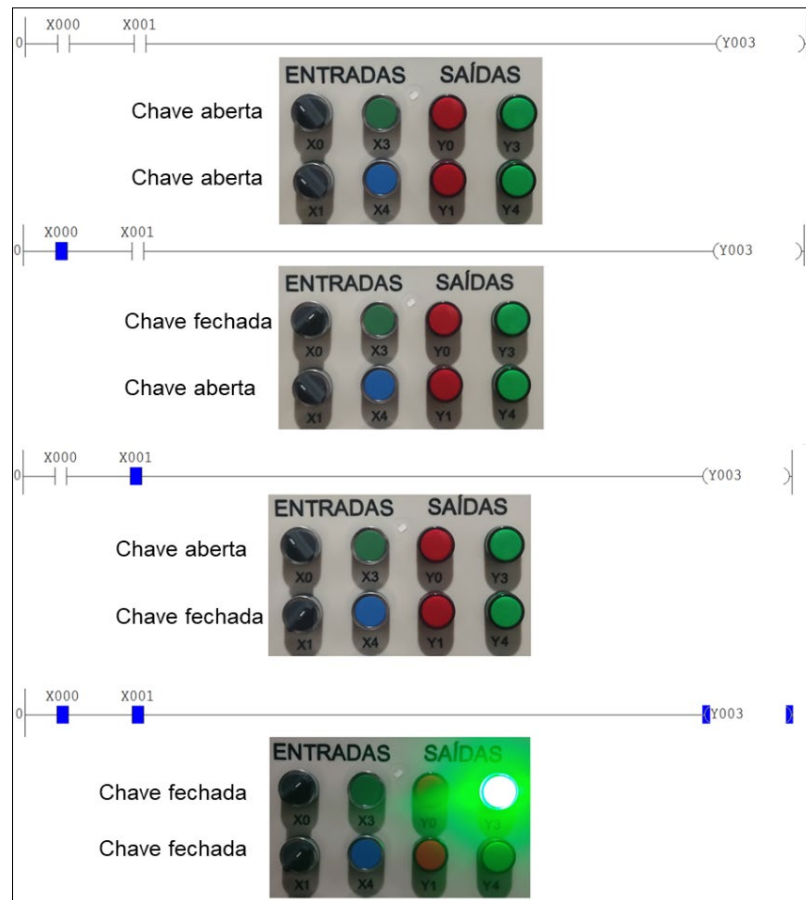


Fonte: Autor (2023).

4.2.3 Função E.

Para a função E, o resultado obtido também se apresentou correto, pois, quando X0 e X1 estavam simultaneamente em alto nível, a saída Y3 estava ativada. E quando qualquer uma das entradas, ou ambas, estavam em baixo nível, a saída Y3 estava desativada. A figura 44 mostra o resultado obtido.

Figura 44- Checagem de funcionamento Função E.

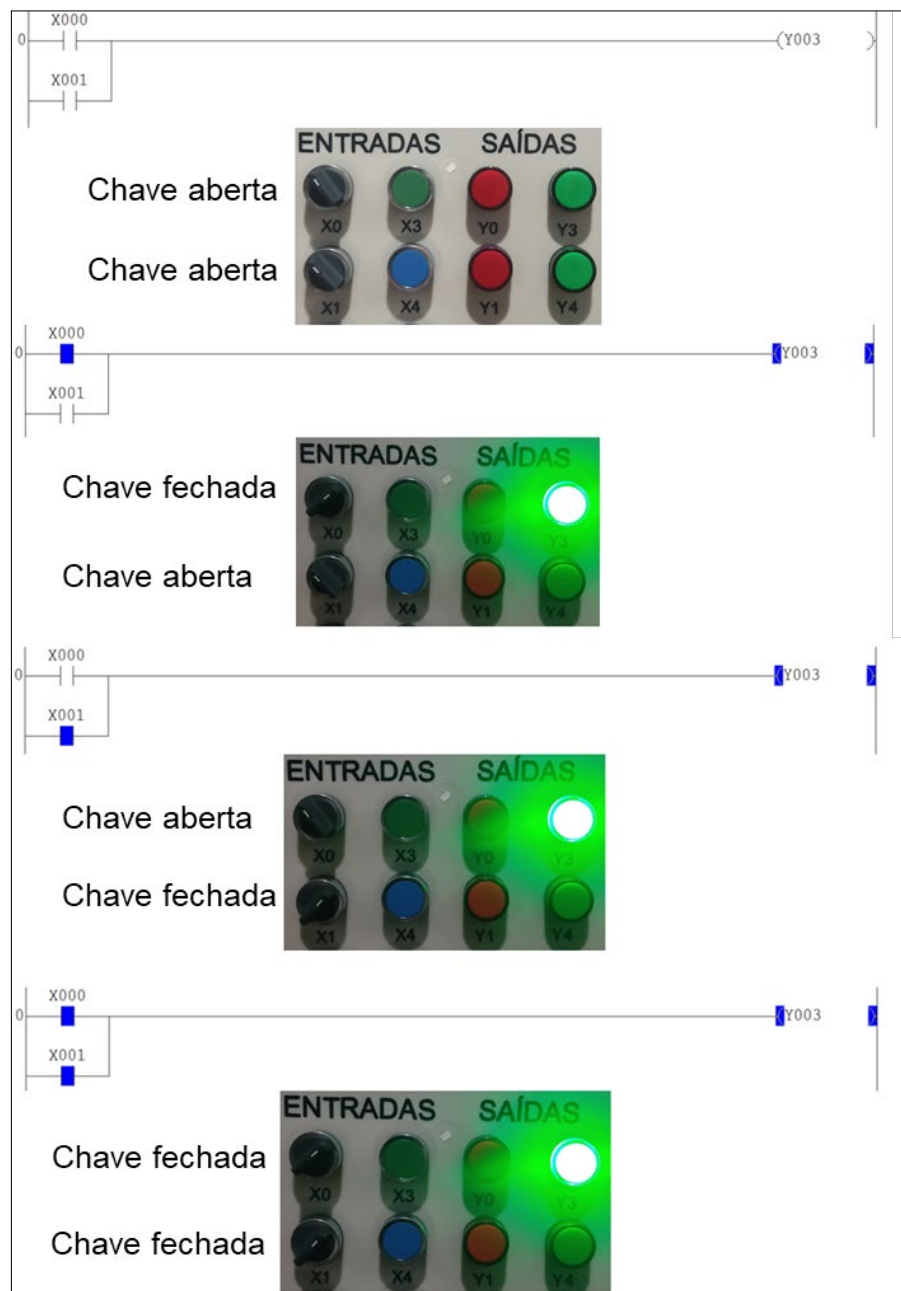


Fonte: Autor (2023).

4.2.4 Função OU

A figura 45 mostra o resultado obtido na última função fundamental testada, função OU. Quando X0 ou X1, ou ambos, estavam em alto nível, a saída Y3 se encontrava ativada. Somente quando X0 e Y3 estavam simultaneamente em baixo nível, a saída Y3 se encontrava desativada.

Figura 45- Checagem de funcionamento Função OU.



Fonte: Autor (2023).

O teste inaugural realizado no módulo didático demonstrou o funcionamento correto das funções. Esses recursos são primordiais para o controle lógico de processos industriais e demonstraram-se eficientes durante o teste realizado.

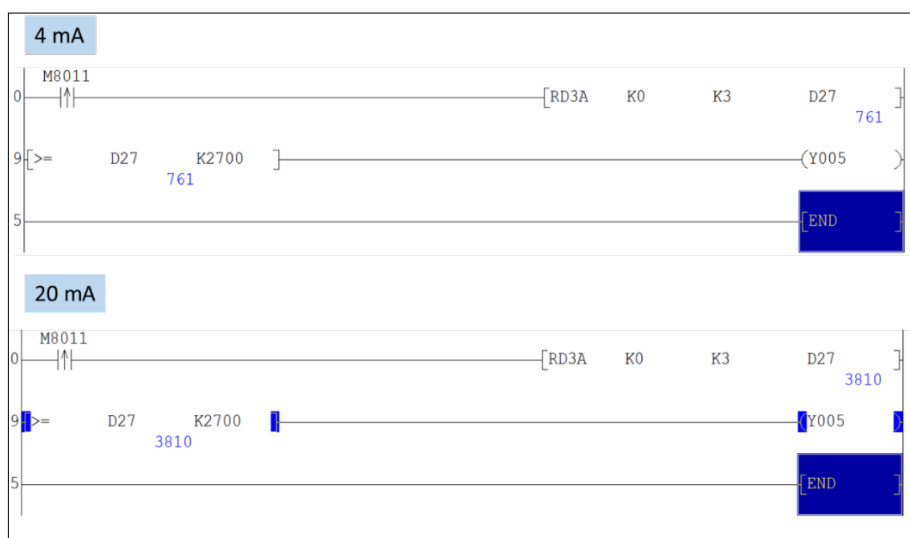
4.3 Teste entrada analógica

O módulo didático possui apenas duas entradas analógicas disponíveis, devido às conexões elétricas, que foram feitas especificamente para AD0 (0~10v), e AD3

(4mA~20mA), conforme mostrado no diagrama do Anexo D. Foi realizado um exemplo simples, que simulou a leitura de um sensor de temperatura para acionar uma saída digital.

Inicialmente, com a finalidade de assegurar a precisão na leitura, foram aplicadas correntes de 4mA e 20mA na entrada analógica AD3 usando o gerador de sinal do módulo didático. Através do monitoramento em tempo real, foi possível observar que quando um valor de 4mA foi aplicado à entrada analógica, o registrador indicou o valor digital de 761. Da mesma forma, quando um valor de 20mA foi aplicado, o CLP indicou um valor digital de 3810 no registrador. Essas informações estão ilustradas abaixo na figura 46.

Figura 46- Valores digitais para 4mA e 20mA.



Fonte: Autor (2023).

Os valores obtidos divergiram dos valores especificados pelo fabricante, pois, de acordo com as informações presentes no manual do CLP, é estabelecido que um valor digital de 4095 (12 bits) corresponde a uma corrente de 20 mA, enquanto um valor de 0 é associado a uma corrente de 4 mA. Se o programa fosse desenvolvido com base nos valores fornecidos pelo manual, a leitura de temperatura não seria precisa em relação à temperatura real do sistema. Assim, os valores obtidos inicialmente foram adotados para o desenvolvimento do programa.

Na figura 47, em questão, é possível visualizar o resultado alcançado. Ao aplicar um sinal de 4mA, a temperatura correspondente em graus Celsius é de 0°. Da

mesma maneira, ao aplicar uma corrente de 20mA, é observado que a temperatura alcança o valor de 200°C.

Figura 47- Simulação de leitura de um sensor de temperatura.



Fonte: Autor (2023).

Observou-se que o CLP integrado ao módulo didático foi capaz de capturar com precisão e estabilidade os valores fornecidos pelo gerador de sinal analógico. As leituras foram consistentes demonstrando um bom desempenho do sistema.

4.4 Teste prático

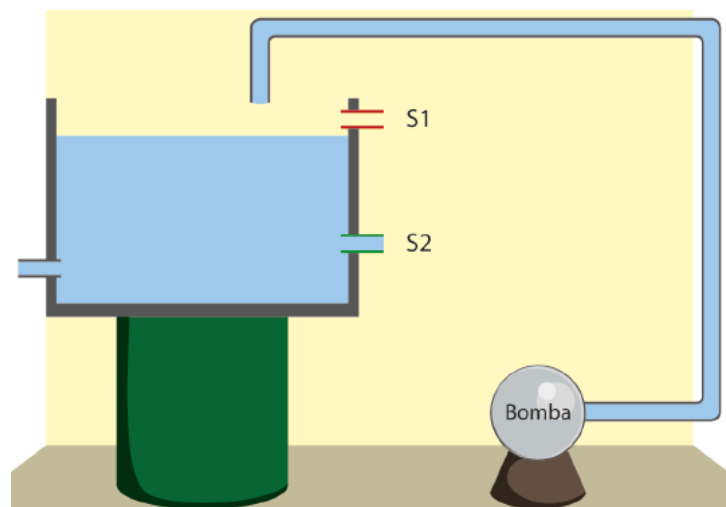
Para simular o uso real do módulo didático, foram selecionadas e resolvidas algumas questões extraídas de livros e apostilas. Portanto, só será citado no trabalho a resolução da questão de número 2, retirada da apostila *Controladores Programáveis*

de Marcos Daniel Zancan (2011 p.50). A questão solicita o desenvolvimento de um programa que automatize o acionamento de uma bomba centrífuga para o abastecimento de um tanque. O sistema é exibido na figura 48.

Dados da questão:

- A bomba centrífuga deve ser ligada quando o sensor S2 estiver desativado (nível mínimo).
- A bomba centrífuga deve ser desligada quando o sensor S1 estiver ativado (nível máximo).
- Um interruptor Ch1 deve interromper manualmente o controle automatizado.
- Uma lâmpada de sinalização L1 deve permanecer ligada enquanto o sensor S1 estiver desativado (modo manual).

Figura 48- Questão proposta, funcionamento do tanque.



Fonte: ZANCAN, 2011.p.50.

4.4.1 Simulação da aplicação do módulo didático

Nesta etapa do trabalho, configura-se como a simulação da aplicação do módulo didático construído, conforme apresentado na figura 49, com aplicação direta em questões (exercícios propostos). A primeira lógica implementada consistiu no uso de um interruptor (X2) para habilitar ou desabilitar o modo automático. Para essa finalidade, foi empregado um contato normalmente aberto para enviar um sinal para M11, e um contato fechado foi utilizado para enviar um sinal para M12. Dessa forma, quando o interruptor estiver fechado, o sistema estará operando no modo automático.

Figura 49- Simulação de funcionamento do protótipo finalizado.



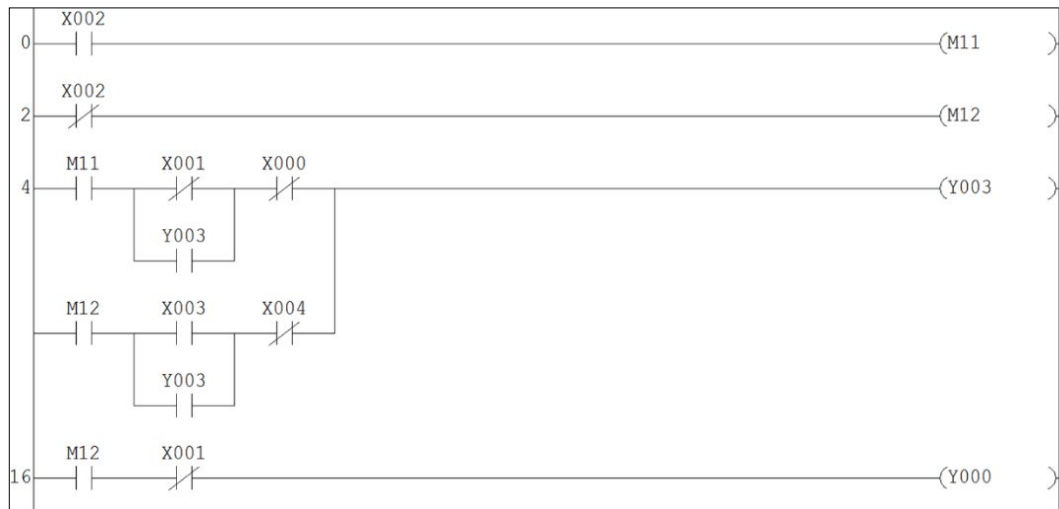
Fonte: Autor (2023).

A segunda lógica implementada corresponde ao acionamento automático. As chaves S1 e S2 estão associadas às entradas X0 e X1, respectivamente. A ativação da saída Y3, responsável pelo acionamento da bomba centrífuga, ocorre quando as entradas X0 e X1 estão em nível lógico baixo. A fim de assegurar que a saída permaneça ativada mesmo quando X1 está em nível lógico alto devido ao acionamento do sensor pela presença de água, foi empregado um selo lógico que será desativado com o acionamento da entrada X0.

Por último, em relação ao modo manual, a ativação de Y3 ocorre quando a entrada X3 está em nível lógico alto, e é desativada quando X4 está em nível lógico alto. Quando X1 está em nível lógico baixo, a saída Y0 é acionada, representando a lâmpada de sinalização.

As três partes do programa, que fazem o controle do sistema, está ilustrado na figura 50.

Figura 50- Programa que realiza o controle do processo.



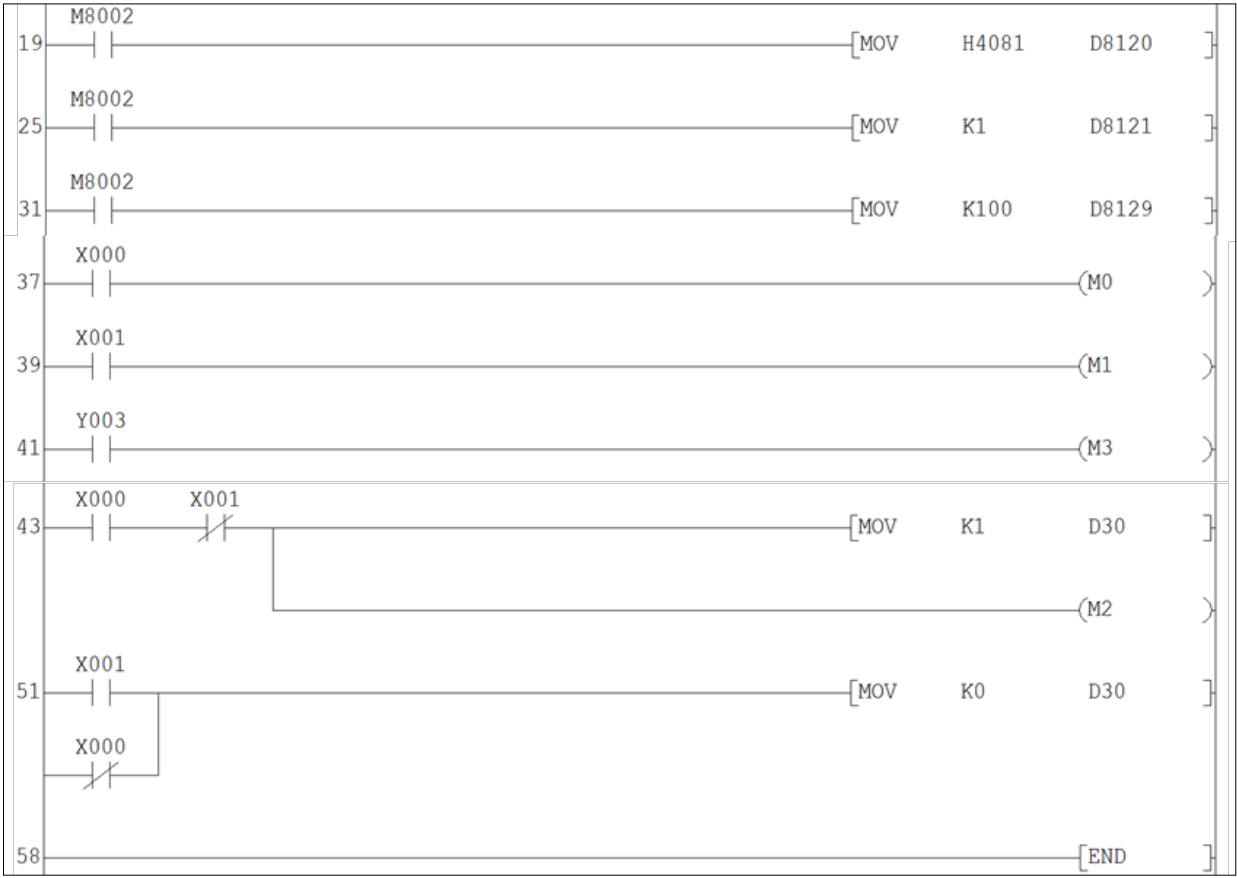
Fonte: Autor (2023).

4.4.2 Implementação da IHM.

Adicionalmente, foi desenvolvido um sistema de supervisão simplificado com o objetivo de avaliar a funcionalidade da Interface Homem-Máquina (IHM) do módulo didático.

Na figura 51, as três primeiras linhas configuram os parâmetros de comunicação do protocolo Modbus RS485, que fornece uma estrutura eficiente e simples para a troca de informações entre dispositivos mestre e escravo. Nas linhas 37, 39 e 41, são realizadas as leituras dos sensores S1 e S2, além do estado da bomba centrífuga. Esses dados são transmitidos para a Interface Homem-Máquina (IHM), onde serão processados e exibidos no visor. Essas linhas desempenham um papel crucial ao mostrar o status do nível de água no visor. Já a linha 51 é responsável por verificar a condição de alarme do sistema.

Figura 51- Programa de supervisão da IHM.



Fonte: Autor (2023).

A figura 52 apresenta o resultado do supervisório, onde A corresponde ao tanque cheio, B ao tanque abaixo do nível mínimo, C com o acionamento do nível mínimo, D quando o tanque está com o nível máximo e E representa um alarme.

Figura 52- Interface IHM.



Fonte: Autor (2023).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, foi apresentada uma proposta de um módulo didático de baixo custo para o ensino de programação de CLP e IHM. Através dos experimentos realizados, pôde-se explorar diversas funcionalidades do módulo didático de CLP. Comparando-a com outros módulos didáticos de propostas semelhantes e até mesmo com um modelo comercial, tanto o custo quanto as funcionalidades tornam sua construção e utilização viáveis em instituições de ensino e para indivíduos interessados nessa área.

Como perspectivas futuras, os usuários terão a possibilidade de realizar novos experimentos explorando outros recursos desse CLP e da IHM como por exemplo:

- *Testes finais para validação do protótipo:* realizar mais testes no módulo finalizado e verificar o desempenho dos componentes com o uso e avaliar requisitos de segurança do usuário;
- *Aplicar o uso do módulo didático:* em turmas de alunos de programação (nível técnico e superior de engenharia), para avaliar aderência e requisitos de aplicabilidade;
- *Integração com outros dispositivos:* Explorar a possibilidade de integração do módulo didático com outros dispositivos industriais, como inversores de frequência, sensores de temperatura, medidores de vazão, entre outros. Isso proporcionará uma experiência mais próxima das aplicações industriais;
- *Desenvolvimento de projetos práticos:* Promover a criação de projetos práticos utilizando o módulo didático, nos quais os alunos possam aplicar seus conhecimentos. Isso estimulará a criatividade, a resolução de problemas e a aplicação dos conceitos aprendidos.

Estas implementações futuras ampliarão ainda mais as possibilidades de experimentação e aprendizado com o módulo didático, proporcionando um ambiente de ensino mais completo e abrangente. Com base nisso, conclui-se que o trabalho atendeu aos objetivos propostos e que proposta do módulo didático é promissora.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMORIM, M.J. **Desenvolvimento de Bancada Didático-Experimental de Baixo Custo para Aplicação em Controle de Ativo de Vibrações: Mestrado em Engenharia Mecânica**. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2006.
- ANDERLE, Bruno Pase. **Dimensionamento de uma Bancada Didática de Hidráulica**. 2017.
- BAYER, Fernando Mariano; ARAÚJO, Olinto César. **Controle Automático de Processos**. Santa Maria: E-tec Brasil, 2011. Disponível <https://www.ufsm.br/app/uploads/sites/413/2018/11/11_controle_automatico_processos.pdf>
- BLOG DA AUTOMAÇÃO. **Os 50 anos de pioneirismo e inovações**. Disponível em: <<https://blog.se.com/br/automacao-industrial/2018/11/30/modicon-50-anos-de-pioneirismo-e-inovacoes/>>. Acesso em: 12 de agosto de 2023.
- CARVALHO, Anna Cristina Barbosa Dias de; PORTO, Arthur José Vieira; BELHOT, Renato Vairo. **Aprendizagem significativa no ensino de engenharia**. Production, v. 11, p. 81-90, 2001.
- CELARO, Tiago Francisco et al. **construção de bancada hidráulica para estudo de bombas centrífugas e de perdas de carga–caso mm PBL**. 2018.
- COSTA, Guilherme Henrique Silveira. **Utilização de um controlador lógico programável em um sistema de bombeamento de água**. 2022. Disponível em:<<https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/35521>>.
- COSTA, Isabele Moraes; LISBOA, Stella Neves Duarte; SANTOS, Talita Pitanga. **Automação industrial. Natal: Dca447-Departamento de Engenharia de Computação e Automação-Universidade Federal do Rio Grande do Norte**, 2003.
- DE MORAES, Cícero Couto; DE LAURO CASTRUCCI, Plínio. **Engenharia de automação industrial**. LTC, 2018.
- FERRAZ, Egidio. **“Modicon: 50 Anos de Pioneirismo E Inovações.”** Blog Da Schneider Electric, 30 Nov. 2018. Disponível em:< blog.se.com/br/automacao-industrial/2018/11/30/modicon-50-anos-de-pioneirismo-e-inovacoes/>. Accessed 24 Mar. 2023.
- FIGUERÊDO, José Solenir Lima et al. **Percepção do ensino-aprendizagem da monitoria de algoritmos e programação em cursos de engenharia na perspectiva de estudantes, monitores e professores**. Revista Brasileira de Informática na Educação, v. 29, p. 1433-1462, 2021.
- GROOVER, Mikell - **Automação industrial e sistemas de manufatura – 3. ed.** – São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011.

INEP, Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. **Censo da Educação Superior**. INEP, 2020. Disponível em: <https://download.inep.gov.br/publicacoes/institucionais/estatisticas_e_indicadores/resumo_tecnico_censo_da_educacao_superior_2020.pdf>. Acesso em: 28 de agosto de 2023.

INEP, Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. **Dados Abertos Indicadores Educacionais de Fluxo da Educação Superior**. INEP, 2021. Disponível em: <<https://www.gov.br/inep/pt-br/acesso-a-informacao/dados-abertos/indicadores-educacionais/indicadores-de-fluxo-da-educacao-superior>>.

Acesso em: 28 de agosto de 2023.

LAMB, Frank. **Automação industrial na prática-série Tekne**. AMGH Editora, 2015.
LISBOA, P. C. et al. Projeto e construção de uma bancada didática com turbina do tipo pelton para aplicação em ensino de engenharia. In: **Congresso Brasileiro de Educação em Engenharias**. 2014.

LOPES, Aldo P. C.; REIS, Frederico S. Vamos viajar? – Uma abordagem da aprendizagem baseada em problemas no cálculo diferencial e integral com alunos de Engenharia. **Revista de Educação Matemática**, v. 16, n. 23, p. 449-469, 2019.

MASSON, T.J., Miranda, L.F., Munhoz, A.H. e Castanheira, A.M.P. (2012). **“Metodologia de ensino: aprendizagem baseada em projetos (PBL)”**. Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, Belém.

MENDES, Rafael Manfrin. **Programação de CLPs. Métodos e Técnicas**. São Carlos, 2021.

MORAES, Cícero Couto de; CASTRUCCI, Plínio de Lauro. Engenharia de automação industrial. **Rio de Janeiro: Editora LTC**, 2007.

ROCHA, Sofia Tami Kitayama et al. **Modelo de referência para interface homem máquina no CLP**. 2021. Disponível em:<<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/223222>>

OLIVEIRA, Marcelo S. Uma reflexão sobre a ideia de superação do ensino tradicional na educação Matemática: a dicotomia entre a abordagem clássica e abordagens inovadoras em foco. **Boletim online de Educação Matemática**, v. 7, n. 14, p. 79-93, 2019.

PAREDE I. M.; GOMES, L. E. L. H. E. **Eletrônica: Automação Industrial**. 6. ed.. ed. [S.I.]: São Paulo: Fundação Padre Anchieta., 2011.

PRUDENTE, Francesco. **Automação IndustrialL PLC: Teoria E Aplicações**. Grupo Gen-LTC, 2013.

SILVA, A. M. da et al. **Bancada didática baseada em clp compact logix da rockwell para uso nas disciplinas de automação e instrumentação industrial**. TECNOLOGIA & INFORMAÇÃO-ISSN 2318-9622, v. 2, n. 3, p. 28–43, 2015.

PETRUZELLA, Frank D. **Controladores lógicos programáveis**. AMGH Editora, 2014.

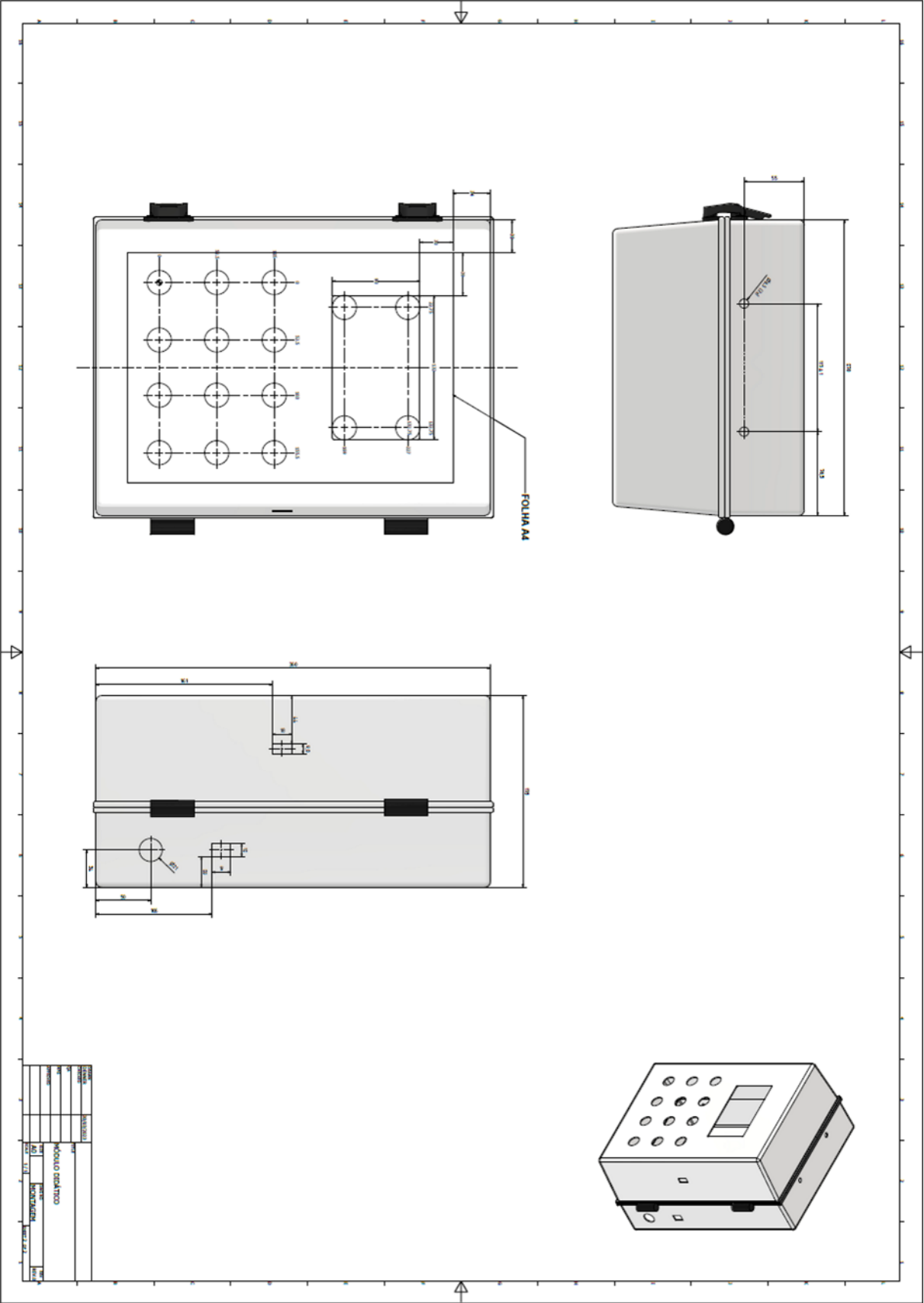
SANTOS JÚNIOR, Paulo Roberto Rodrigues dos et al. **Desenvolvimento de uma bancada didática e guia para aprendizado de Controladores Lógico Programáveis e sua aplicação em uma esteira transportadora instrumentada**. 2019.

SOUZA, M., Moreira, R., and Figueiredo, E. (2019). **Students perception on the use of Project-based learning in software engineering education**. In Proceedings os the XXXIII Brazilian Symposium on Software Engineering. Pages 537-546.

UFRN, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. **Materiais de Publicações. Programação Ladder**. Disponível em: <<https://materialpublic.imd.ufrn.br/curso/disciplina/1/60/1/5>>. Acesso em 13 de agosto de 2023.

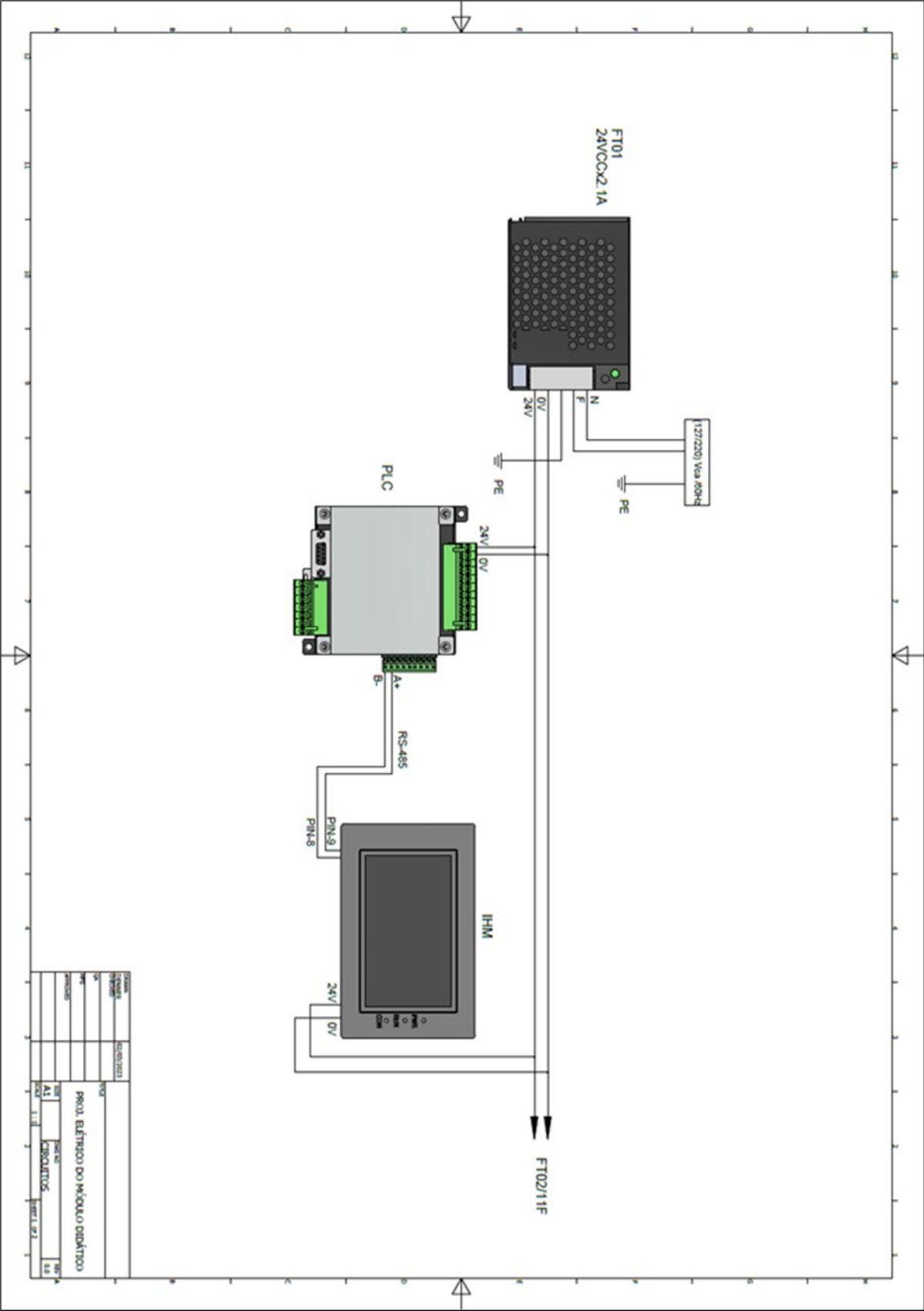
ZANCAN, Marcos Daniel. **Controladores programáveis**. 2016. Disponível em:< http://proedu.rnp.br/bitstream/handle/123456789/319/controladores_programaveis.pdf?sequence=1>. Acessado em: 26 de abril de 2023.

APÊNDICE B – Gabarito para Furação



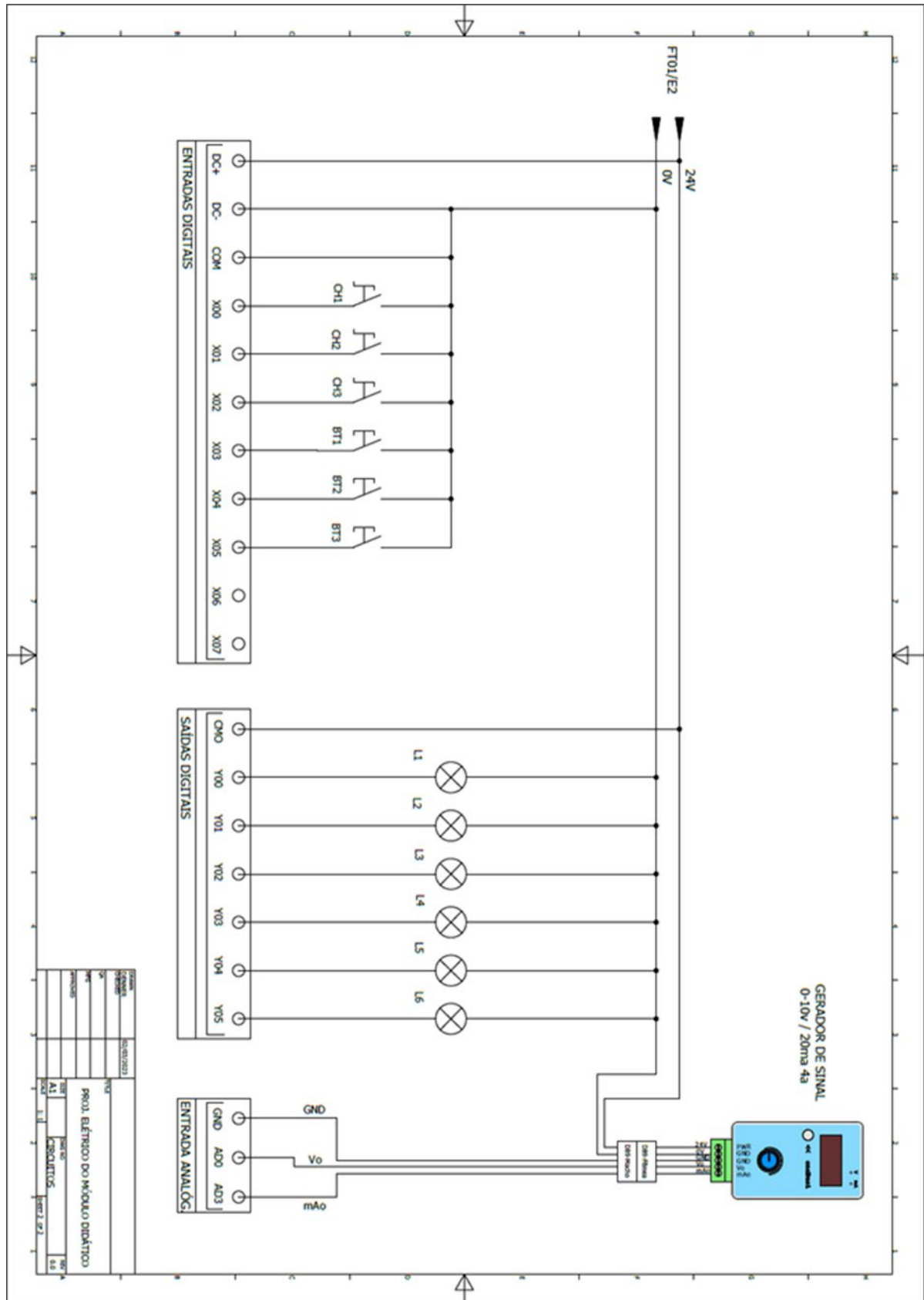
Fonte: Autor (2023).

APÊNDICE C – Diagrama de ligação



Fonte: Autor (2023)

APÊNDICE D – Diagrama de ligação 2



Fonte: Autor (2023).

APÊNDICE E – Síntese do módulo didático e simulação de exercício de validação proposto (vídeo)

