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

GUILHERME RIBEIRO E SILVA

AUTOMAÇÃO DE SISTEMAS DE CONTROLE DE TEMPERATURA: DESENVOLVIMENTO DE UM MÓDULO DIDÁTICO PARA FINS EDUCACIONAIS

CUIABÁ – MT
OUTUBRO, 2023

GUILHERME RIBEIRO E SILVA

AUTOMAÇÃO DE SISTEMAS DE CONTROLE DE TEMPERATURA: DESENVOLVIMENTO DE UM MÓDULO DIDÁTICO PARA FINS EDUCACIONAIS

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

Orientador:
Prof. Dr. Mario Kiyoshi Kawaphara

CUIABÁ – MT
OUTUBRO, 2023

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

S586a Silva, Guilherme Ribeiro e.
Automação de sistemas de controle de temperatura: desenvolvimento de um módulo didático para fins educacionais [recurso eletrônico] / Guilherme Ribeiro e Silva. -- Dados eletrônicos (1 arquivo : 63 f., il. color., pdf). -- 2023.

Orientador: Mario Kiyoshi Kawaphara.
TCC (graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Mato Grosso, Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia, Cuiabá, 2023.
Modo de acesso: World Wide Web: https://bdm.ufmt.br.
Inclui bibliografia.

1. Automação, Controle de Temperatura, Sistemas industriais. I. Kawaphara, Mario Kiyoshi, *orientador*. II. Título.

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

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

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
Av. Fernando Corrêa da Costa, n 2367 - Bairro Boa Esperança, Cuiabá/MT, CEP 78060-900
Telefone: (65)3615-8000 e Fax: @fax_unidade@ - http://www.ufmt.br

DECLARAÇÃO

Processo nº 23108.080901/2023-79

Interessado: Guilherme Ribeiro e Silva

FOLHA DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA MONOGRAFIA:

Automação de sistemas de controle de temperatura: desenvolvimento de um módulo didático para fins educacionais.

ALUNO: Guilherme Ribeiro e Silva RGA: 202213322180

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

Aprovada em 24 de outubro de 2023.

Nota:8,73

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Mario Kiyoshi Kawaphara - Orientador

Eng. Dr. Rodolfo Quadros -examindor -1

Eng. Julio Cezar Campos-examindor-2

Documento assinado eletronicamente por **RODOLFO QUADROS**, **Técnico Administrativo em Educação da CEG em Eng. Elétrica / FAET - UFMT**, em 24/10/2023, às 16:19, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.

Documento assinado eletronicamente por **Julio Cezar Campos**, **Usuário Externo**, em 24/10/2023, às 16:20, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.

Documento assinado eletronicamente por **MARIO KIYOSHI KAWAPHARA**, **Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 24/10/2023, às 16:20, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020 .

A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufmt.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **6315254** e o código CRC **4B491440**.

Referência: Processo nº 23108.080901/2023-79 SEI nº 6315254

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, cujo apoio incondicional e amor inabalável me guiaram nesta jornada acadêmica. Além disso, gostaria de expressar minha gratidão meu instrutor, Mario Kiyoshi Kawaphara, cujo conhecimento e orientação foram essenciais para o desenvolvimento deste trabalho. Dedico este TFC a todas as pessoas que acreditaram em mim e me inspiraram a ser melhor.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha gratidão a todos que ajudaram a concluir este trabalho. Agradeço ao meu orientador por fornecer apoio, orientação e opiniões úteis que contribuíram para este estudo. Além disso, expresso minha gratidão aos meus amigos e familiares, que me forneceram apoio e encorajamento inabaláveis ao longo dessa jornada acadêmica. Minha gratidão se estende aos colegas e educadores que compartilharam experiências e conhecimentos. Em especial, agradeço à minha mãe, que sempre esteve ao meu lado apoiando da melhor forma possível. A colaboração e dedicação de todos vocês tornaram possível este esforço. Obrigado por sua ajuda constante e inspiração.

RESUMO

Automatizar o controle de temperatura em um módulo de ensino é o objetivo do projeto, que busca oferecer um recurso educacional único a estudantes e profissionais interessados no assunto. Dada a prevalência de sistemas automatizados em ambientes industriais, o projeto é especialmente pertinente. Em vários campos, incluindo mineração, petróleo e culinária, o controle automatizado de temperatura desempenha um papel fundamental. Esses sistemas inovadores produzem temperaturas exatas, resultando em maior segurança, eficácia e excelência em produtos na indústria moderna. O módulo desenvolvido tem por finalidade apresentar ao usuário um sistema didático que pode ser replicado em um sistema real. O desenvolvimento de ferramentas educativas é fundamental e o módulo didático proposto neste projeto comprova a sua importância. Ao compreender esses sistemas e sua versatilidade em vários ambientes e áreas, estudantes e profissionais estarão mais bem equipados do que antes. Ao fim do trabalho vê-se que o módulo obteve sucesso, visto que foi evidenciado que a comunicação entre diferentes tipos de equipamentos é essencial, e a habilidade de manipulá-los em conjunto deve ser desenvolvida dentro do curso de engenharia elétrica. Os usuários compreenderão a automação e o controle de temperatura em sistemas de aquecimento e refrigeração por meio do módulo didático. Serão explicados conceitos teóricos, seguidos de aplicações práticas. À medida que os usuários aprendem, eles também experimentarão os diversos níveis de segurança encontrados em diferentes setores. Em resumo, o trabalho tem como objetivo contribuir para o aprimoramento do ensino referente a automação e controle de temperatura em sistemas industriais, proporcionando aos estudantes e profissionais desafios encontrados no mercado de trabalho, induzindo uma maior frequência de utilização desses sistemas em diferentes setores industriais ou da vida cotidiana.

Palavras-Chave: Automação, Controle de Temperatura, Sistemas industriais.

ABSTRACT

Automating temperature control in a teaching module is the aim of the project, which seeks to offer a unique educational resource to students and professionals interested in the subject. Given the prevalence of automated systems in industrial environments, the project is especially pertinent. In various fields, including mining, oil and cooking, automated temperature control plays a key role. These innovative systems produce exact temperatures, resulting in greater safety, efficiency, and product excellence in modern industry. The module developed aims to present the user with a didactic system that can be replicated in a real system. The development of educational tools is fundamental, and the didactic module proposed in this project proves its importance. By understanding these systems and their versatility in various environments and areas, students and professionals will be better equipped than before. At the end of the project, the module was a success, as it showed that communication between different types of equipment is essential, and the ability to manipulate them together should be developed within the electrical engineering course. Users will gain an understanding of automation and temperature control in heating and cooling systems through the didactic module. Theoretical concepts will be explained, followed by practical applications. As users learn, they will also experience the various levels of safety found in different sectors. In summary, the work aims to contribute to the improvement of teaching on automation and temperature control in industrial systems, providing students and professionals with challenges encountered in the job market, inducing a greater frequency of use of these systems in different industrial sectors or in everyday life.

Keywords: Automation, Temperature Control, Industrial Systems.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURAS

Figura 1: Módulo didático....28
Figura 2: Módulo CLP ATOS 4004....29
Figura 3: Controlador de temperatura Novus 1100....30
Figura 4: Variação do erro para classes de PT100 e PT1000....33
Figura 5: Ação proporcional em um sistema de controle....35
Figura 6: (a) Ação proporcional em um sistema de controle; (b) Ação Proporcional Integral em um sistema de controle....35
Figura 7: Sistema com PID auto adaptativo - N1100....36
Figura 8: Diagrama de conexões do controlador N1100....37
Figura 9: Controlador de Potência Monofásico Varixx....38
Figura 10: Tela de programação do software WinSUP2:....42
Figura 11: Diagrama de comando do sistema....47
Figura 12: Tela de Expansões de Hardware....49
Figura 13: Tela de seleção da IHM....50
Figura 14: Programa principal – Parte 1....52
Figura 15: Programa principal – Parte 2....53
Figura 16: UND40....55
Figura 17: OVER40....56
Figura 18: FLAG1....56
Figura 19: FLAG0....57
Figura 20: O40U50....58
Figura 21: OVER50....58
Figura 22: O50U60....59
Figura 23: Over 60....60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Nomenclaturas típicas para sistemas de controle e descrição.....31
Tabela 2: Condições de funcionamento de sistemas de controle de temperatura.....34
Tabela 3: Contatos em linguagem Ladder.....42
Tabela 4: Bobinas em linguagem Ladder.....43
Tabela 5: Saltos.....44
Tabela 6: Blocos de função.....45
Tabela 7: Função de cada contator.....48
Tabela 8: Variáveis utilizadas na programação.....51

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CPU	*Central Processing Unit* (Unidade de Processamento Central)
GM	*General Motors*
IEC	*International Electrotechnical Commission* (Comissão Eletrotécnica Internacional)
IHM	Interface Homem-Máquina
LED	*Light Emitting Diode* (Diodo emissor de luz)
LDC	*Liquid Crystal Display* (Display de Cristal Líquido)
MV	Variável Manipulada
PMC	*Programmable Matrix Controller*
PID	Proporcional Integral Derivativo
PLC	*Programmable Logic Controller* (Controlador Lógico Programável)
RTD	*Resistance Temperature Detector* (Sensor de Temperatura por Resistência)
SCADA	Sistema de Controle e Aquisição de Dados
SCR	*Silicon Controlled Rectifier*
SP	*Set Point*
SV	*Set Value*
VP	Variável de Processo
[mA]	*mili-Amperes*
[V]	Volts

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO....16
1.1 OBJETIVOS....20
1.1.1 OBJETIVO GERAL....20
1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS....20
2 REFERENCIAL TEÓRICO....21
2.1.1 MÓDULO DIDÁTICO PARA O ENSINO DE RECURSOS DA ENGENHARIA ELÉTRICA....21
2.1.2 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL....21
2.1.3 LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO....22
2.1.4 SENSOR DE TEMPERATURA....23
2.1.5 CONTROLADOR DE TEMPERATURA....24
2.1.5.1 AQUISIÇÃO DE SINAIS....24
2.1.5.2 CONVERSÃO ANALÓGICO-DIGITAL (AD)....24
2.1.5.3 CONTROLE DE SAÍDAS DIGITAIS E ANALÓGICAS....25
2.1.6 CONTROLADOR DE POTÊNCIA....26
3 MÓDULO DIDÁTICO....28
3.1 CLP ATOS 4004G....29
3.2 CONTROLADOR DE TEMPERATURA NOVUS N1100....30
3.2.1 INSTRUMENTAÇÃO....30
3.2.2 SENSORES DE TEMPERATURA....32
3.2.3 CONTROLE....33
3.2.3.1 TIPO DE CONTROLE....33
3.2.3.2 CONTROLE DE SAÍDA DIGITAL....34
3.2.3.3 CONTROLE PID....34
3.2.4 SINTONIA AUTO ADAPTATIVA....36
3.2.5 DETALHES DO PRODUTO....37
3.2.6 CONEXÕES ELÉTRICAS....37

3.3 CONTROLADOR DE POTÊNCIA MONOFÁSICA VARIXX....38
4 PROGRAMAÇÃO DO MÓDULO....40
5 APLICAÇÃO....47
5.1 DIAGRAMA DE COMANDO....47
5.2 CONFIGURAÇÃO DE *HARDWARE*....48
5.3 DESCRIÇÃO DA APLICAÇÃO....50
5.4 CÓDIGO....51
5.4.1 PRINCIPAL....52
5.4.2 UND40 – MENOR QUE 40°C....54
5.4.3 OVER40 – MAIOR QUE 40°C....55
5.4.4 FLAG1 – *FLAG* DE TEMPERATURA NÍVEL 1....56
5.4.5 FLAG0 – *FLAG* DE TEMPERATURA NÍVEL 0....57
5.4.6 O40U50 – MAIOR QUE 40°C E MENOR QUE 50°C....57
5.4.7 OVER50 – MAIOR QUE 50°C....58
5.4.8 O50U60 – MAIOR QUE 50°C E MENOR QUE 60°C....59
5.4.9 OVER60 – MAIOR QUE 60°C....59
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS....61
6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS....61
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS....63

1 INTRODUÇÃO

Desde o começo dos tempos, a curiosidade inata e o desejo de superar desafios têm sido motores para a humanidade. Essa busca incessante levou ao surgimento e avanço de tecnologias que moldaram profundamente a nossa existência. Cheia de descobertas e inovações que transformaram a sociedade além da imaginação, a incrível trajetória da evolução tecnológica é inegável.

Nossos antigos predecessores precisavam confiar em seu físico e na sabedoria que acumularam em seus encontros para prosperar. Não obstante, à medida que a percepção e a capacidade mental da humanidade melhoraram, eles reconheceram que poderiam manipular o mundo natural em seu benefício. Assim nasceram as primeiras ferramentas primitivas, como a descoberta do fogo. Esta conquista foi aclamada como um feito significativo para os humanos e teve uma influência fundamental na expansão dos nossos costumes.

Graças às suas capacidades físicas e conhecimentos básicos, os nossos antepassados pré-históricos conseguiram prosperar e sobreviver. Mas, eles não se contentaram apenas com isso, por isso os humanos fizeram as primeiras tentativas de melhorar a sua condição, estudando a natureza e experimentando ferramentas descomplicadas.

Após a revolução agrícola houve uma mudança substantiva, visto que a evolução tecnológica ao decorrer do tempo aumentou exponencialmente. Junto à revolução agrícola presenciou-se um grande movimento de uma vida sedentária, onde surgiram assentamentos permanentes, cujo objetivo era manter base fixa e ter prosperidade agrícola e na criação de animais. Essa mudança de visão social alterou o rumo da humanidade, e deu origem às primeiras civilizações, que ao passar das eras acumularam conhecimento e especialização específica em diversas áreas.

Mas a humanidade passou por uma mudança realmente revolucionária durante a "Era Industrial", que foi o surgimento das máquinas a vapor. “As modificações feitas por Watt tiveram tanta importância para o parque fabril da época que levaram o filósofo alemão Karl Marx a considerar a máquina a vapor como o item mais importante da grande indústria” (GOEKING, 2010, p. 71). A produção em massa fez com que as economias crescessem e permitissem um estilo de vida antes inimaginável.

Com o surgimento das revoluções industriais a sociedade presenciou grandes mudanças na forma com que eram produzidos produtos e gerenciados produtos, tendo em vista que entre os séculos XVIII e XIX houve uma mudança econômica decorrente do surgimento de máquinas, que propiciou a nova era de produção em massa.

Uma parte importante desse movimento foi a automatização de processos. Diversas indústrias começaram a utilizar máquinas a vapor, como teares mecânicos e prensas. As máquinas aumentaram a eficiência das indústrias, já que os processos mais demorados podiam ser realizados por máquinas, sem interferência de cansaço e erro humano. Elas trouxeram ônus aos donos dos parques fabris, porém prejudicaram a sociedade, que precisou se adaptar a novas funções em seus empregos, caso contrário estariam inválidos para trabalhar.

Durante a evolução da humanidade tiveram grandes evoluções, mas os processos de automação só se evidenciaram durante a segunda revolução industrial, onde foi descoberta a eletricidade. Nessa época, junto a eletricidade, foram desenvolvidas máquinas elétricas, como motores, que foram essenciais para substituir mão de obra e aumentar eficiência e produtividade, além de melhorar condições de trabalho. A automação e controle industrial surgiu nesse contexto, com a utilização de lógica binária junto a contatores e Controladores Lógicos Programáveis (CLP's), que foram introduzidos paulatinamente.

Os contatores foram os primeiros dispositivos eletromagnéticos usados na automação industrial. Eles são controlados por sinais elétricos. Eles permitem o controle remoto e seguro de circuitos elétricos de alta potência, como motores e máquinas industriais. Os contatores facilitam a mecanização de vários processos fabris, permitindo a construção de sistemas mais complexos e controlados.

Mas a introdução dos CLP's foi o que realmente fez a automação industrial mudar, já que eles são dispositivos que não dependem espaço físico para realizar a lógica de controle dos sistemas, podendo realizar instruções lógicas complexas através de sua linguagem de programação, que possibilitaram o controle de máquinas e processos de forma facilitada para os engenheiros ou técnicos

“Com o CLP, as alterações eram feitas apenas mudando sua programação, enquanto os sistemas a relés implicavam modificar a montagem dos equipamentos e, muitas vezes, substituir os hardwares. O CLP foi introduzido na planta da General Motors (GM) em 1969 e os Estados Unidos e a Europa foram os primeiros beneficiados com a tecnologia que só chegou ao Brasil mais tarde, nos anos 1980” (GOEKING, 2010, p. 72).

As fábricas podem funcionar com mais eficiência e confiabilidade com o uso do CLP, ele possibilita a automatização de processos complicados e de alta repetição, reduzindo a quantidade de erros humanos, que é a maior porcentagem de sinistros industriais. Através dos CLP's é possível realizar o monitoramento e alterar os sistemas em tempo real, aumentando a adaptabilidade e a flexibilidade às demandas do mercado.

Por fim, a automatização e o controle industrial com contatores e CLP abriram caminho para a indústria automatizada contemporânea durante a Revolução Industrial, e as tecnologias desenvolvidas nesse período apresentaram acréscimo de produtividade, eficiência e qualidade dos produtos, reformulando a interação entre a humanidade e as máquinas, transformando para melhor a vida de toda população.

Este estudo apresenta uma proposta de automação para controle de temperatura tendo em vista a importância do CLP, que é uma solução eficaz para controlar temperatura. O módulo didático instigará os usuários a adquirirem habilidades de programação e em automação, além de atividades de análise de dados e a interconexão de diversas matérias do curso de engenharia elétrica, elemento essencial para problemas encontrados industrialmente.

Um sistema de controle de temperatura educacional é o objetivo desta pesquisa. O sistema permitirá que os alunos aprendam sobre controle e automação na prática, oferecendo-lhes uma experiência interativa em controle térmico.

Este trabalho foi organizado em seis capítulos cuja organização se descreve a seguir:

Capítulo 1 – Introdução: faz-se uma breve abordagem ao contexto geral da investigação, visando a importância do controle e automação para a humanidade, onde estão apresentadas a Justificativa, os principais objetivos da pesquisa, e a estrutura geral dos capítulos do Trabalho de Final de Curso (TFC).

Capítulo 2 – Revisão bibliográfica: Nesta pesquisa, aborda-se o sistema de controle de temperatura e os componentes associados a ele. Exploraremos a sua evolução histórica, tecnológica e a sua aplicação no âmbito educacional. Serão detalhadas as principais funções, inovações e padrões desse sistema, fornecendo uma visão completa desse importante aspecto da engenharia e como ele influencia diversos setores da sociedade atual. Ao final, espera-se enriquecer o conhecimento dos leitores sobre o tema e sua relevância no mundo moderno.

Capítulo 3 – Módulo didático: Explica-se os diversos modos de operação do módulo didático, abordando a importância de cada um deles, funcionando como um guia de utilização do módulo e dos equipamentos.

Capítulo 4 – Programação: Apresenta-se a utilização da linguagem de programação básica para CLP’s, o Ladder, e a utilização do software para o desenvolvimento, o WinSup2 utilizado para programar o CLP da ATOS, o 4004G.

Capítulo 5 – Aplicação: Apresenta como e o que foi obtido com a finalização da montagem do módulo didático, devidamente programado.

Capítulo 6 – Considerações Finais: Destacam-se a relevância do estudo dos sistemas de controle de temperatura e suas aplicações. Além disso, apresentam-se as principais conclusões

obtidas a partir dessa pesquisa e sugere-se a exploração de possíveis questões de investigação adicionais.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver um módulo didático, que simule a automação para um sistema de controle de temperatura em um sistema elétrico industrial.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

a) Montagem de um módulo didático para controle de temperatura;
b) Implementar um módulo didático que permita programar, simular e executar a montagem de um protótipo via sistema automatizado através de um CLP;
c) Caracterizar o fenômeno de detecção de temperatura via controladores de temperatura;
d) Analisar os diferentes tipos de escala para saídas analógicas entre controladores e demais equipamentos;
e) Caracterizar a interconexão entre circuito de comando e força;
f)

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo são abordados fundamentos que definem sistemas de controle de temperatura, assim como componentes de controle e automação, de forma objetiva e aplicada a este projeto.

2.1.1 MÓDULO DIDÁTICO PARA USO DIDÁTICO NO CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

Os recursos didáticos tangíveis e interativos auxiliam os alunos a compreenderem conceitos complexos de forma prática e visual. O módulo didático permite a aplicação indireta de teorias em cenários reais, promovendo uma experiência de aprendizagem mais cativante e contextualizada. Isso aumenta a capacidade criativa e de curiosidade, além do raciocínio crítico dos estudantes, preparando-os para os desafios da área da engenharia elétrica.

Além de ser um módulo de ensino, possibilita ao estudante utilizar a bancada como instrumento de pesquisa na área de controle de temperatura de sistemas, já que é possível implementar qualquer tipo de programa no CLP, desde que seja respeitada as limitações físicas do módulo didático, tornando-o mais versátil e aplicável para projetos extraclasse. Além da programação do CLP, é importante saber que o controlador de processos associado a ele tem a capacidade de realizar leitura de diversos tipos de sensores térmicos, sendo necessário apenas alguns ajustes na formatação do diagrama de comando do circuito.

Desse modo, vê-se que a utilização do controlador lógico programável, junto a elementos como controlador de temperatura, contatores, LED’s (Light Emitting Diode), botões e outros, pode ser utilizada e explorada assim como acontece no mercado de trabalho, de modo a realizar uma simulação de algumas aplicações industriais.

2.1.2 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL

“A recente história dos CLP’s iniciou-se na década de 1960, quando os sistemas de controle eram manuseados via controle de relé.” (SEGOVIA, 2012, p. 2). A utilização dos controladores se tornou necessária quando o custo de manutenção de plantas elétricas se tornou de grande valor financeiro, já que a quantidade de relés no interior dos painéis crescia exponencialmente. A utilização do CLP além de facilitar a manutenção, fazia com que o espaço utilizado fosse suprimido, reduzindo complexidade elétrica e o tamanho dos painéis nos centros de controle.

"Em 1968 Bill Stone, que fazia parte de um grupo de engenheiros na *Hydramatic Division of General Motors Corporation*, apresentou um artigo na *Westinghouse Conference* externalizando seus problemas com confiabilidade e documentação para as máquinas desta planta." (SEGOVIA, 2012, p. 3). A dificuldade com manutenção, que era externalizada por Bill Stone, não era algo incomum em indústrias, haja visto que houve a popularização da expressão "Cinco horas para encontrar e cinco minutos para consertar".

Tendo em vista os acontecimentos, houve um avanço no desenvolvimento dos computadores capazes de controlar sistemas industriais, que tinham diversos objetivos para que fossem viáveis nos processos, por exemplo: confiabilidade, segurança, capaz de suportar ambientes químicos sem que haja avarias no CLP, aspectos financeiros, entre outros.

"Em 1971, Odo Struger e Ernst Dummermuth, engenheiros da *Allen-Bradley*, tiveram início no desenvolvimento do novo conceito que incluiu o conceito baseado na necessidade do cliente, que não era contemplada pela segunda tentativa, o PMC (*programmable matrix controller*)." (SEGOVIA, 2012, p. 4). A partir desse lançamento o termo PLC (*programmable logic controller*) foi aplicado, e difundido por toda indústria mundial, e comumente conhecido como CLP no Brasil.

Nos primórdios do CLP ele era utilizado apenas com saídas lógicas sólidas, ou seja, saída binária, reduzindo significantemente a complexidade dos controles industriais. Com a evolução tecnológica houve evoluções, em que eles atualmente são capazes de realizar leituras de sinais analógicas, bem como controle de saída analógica, comunicação para sistemas supervisórios, entre outras aplicabilidades a depender de cada fabricante. "Os CLPs mais complexos podem conter em sua linguagem: funções, procedimentos, loops, condicionais, jumps, definição de variáveis, controle de bancos de memória, comunicação de informações com computadores ou com outros CLP's" (CARNEIRO, 2009, p.25).

2.1.3 LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO

Para que houvesse difusão dos controladores, de modo a facilitar a aprendizagem e aplicação deles, foi então desenvolvida uma norma técnica, a "IEC 1131-3: um recurso de programação padrão", que define um padrão de aspectos que as fabricantes podem usufruir.

A norma define três tipos de linguagens de programação, duas textuais, que são: Lista de instruções e Texto estruturado, além de três linguagens gráficas: Diagrama de blocos funcionais, Gráfico sequência de funções e o Diagrama escada, que é o mais difundido atualmente, já que ele representa de forma parecida os diagramas de comando utilizadas em controles sólidos via relé eletromecânico.

“A norma IEC 1131-3 foi criada para padronizar o funcionamento interno dos CLP’s. Atualmente observa-se que os fabricantes a utilizam apenas como referência base, pois cada uma utiliza nomes diferentes para instruções semelhantes em sua linguagem.” (CARNEIRO, 2009, p.24). Desse modo entende-se que o padrão básico é seguido, tendo cada fabricante seu próprio *software* com funções de programação independentes.

“Os CLPs podem ser programados por meio de computadores, são adequados para os ambientes industriais – muitas vezes inóspitos – e possuem linguagem amigável.” (GOEKING, 2010, p. 72).

A linguagem utilizada nesse trabalho é o Diagrama escada, ou também conhecido como Diagrama *Ladder*, que é uma linguagem gráfica que em seus símbolos apresenta um diagrama de relés, que na realidade são microcontrolados, com finalidade de realizar alguma função nas saídas do CLP.

2.1.4 SENSOR DE TEMPERATURA

Em ambientes industriais o controle de diversas variáveis deve ser realizado, como em um sistema hidráulico, onde a pressão e vazão do fluído importa, ou um sistema de abastecimento de água, que depende do nível do reservatório, por exemplo. Em ambos os casos, é impreterível que seja elaborado uma medição de dados, de forma a evitar riscos de parada da planta, já que as perdas financeiras são significativas na maioria dos casos.

Da mesma forma que nos casos citados, também são incluídos sistemas de temperatura, onde o controle de *setpoint* é rigoroso, como em câmaras frias de frigoríficos, que devem manter a temperatura a níveis compatíveis com o tipo de material, ou em sistemas de aquecimento, como o traço elétrico, que utiliza de cabos elétricos aquecedores para controlar temperatura de um fluído escoando em tubos, por exemplo.

Para esse trabalho é utilizado um exemplo para uma possível atividade a ser realizada pelos alunos, que utilizarão o módulo. O sistema simulado será referente ao monitoramento e controle de temperatura para um sistema hidráulico.

Dentro do protótipo foi utilizado o sensor de temperatura PT100. O sensor é um tipo de transdutor de com os quais pode-se converter a variação ôhmica do sensor térmico num sinal proporcional de corrente e assim obter valores de temperatura. Para medir temperaturas precisas, ele é amplamente utilizado em aplicações industriais e científicas. O termo "PT" significa "termômetro de resistência de platina", e o número "100" indica que o sensor tem uma resistência de 100 ohms a 0°C.

O PT100 é feito de platina, um metal com propriedades de resistência elétrica previsíveis. A Curva de Calibração da Platina (ITS-90), uma escala padrão internacional que descreve como a resistência muda com a temperatura, representa a relação entre a resistência elétrica da platina e a temperatura.

As duas classes existentes determinam precisão dos sensores PT100 da seguinte maneira: é indicado a faixa de erro permitida na resistência do sensor, que é diretamente relacionado à medição de controle ou amostragem. Dependendo da classe de precisão e das especificações do sensor não é recomendado o uso, devido ao erro relativo da medição.

"Os resistores detectores de temperatura PT100 podem ser conectados de três diferentes formas: configuração a 2 fios, 3 fios e 4 fios. A configuração a 4 fios é a configuração mais precisa e, portanto, a provável escolha, se possível." (VEIT, 2022, p.11). Devido à natureza resistiva desses sensores, a resistência dos cabos de conexão durante a instalação pode introduzir imprecisões na medição, especialmente no caso do PT100, que apresenta uma menor variação da resistência com a temperatura. Para contornar essa limitação, é comum empregar circuitos de 3 fios, possibilitando a compensação do efeito da resistência dos cabos, sob certas condições. Em aplicações laboratoriais, onde é fundamental eliminar completamente o impacto da resistência dos cabos, costuma-se adotar circuitos de 4 fios.

2.1.5 CONTROLADOR DE TEMPERATURA

Um sistema de controle de temperatura visa manter o ambiente dentro de sua normalidade de funcionamento. Dentro desse processo, o controlador de temperatura entra como um intermediador entre a leitura dos dados de campo com as ações que devem ser realizadas. Ele monitora constantemente a temperatura atual do local especificado, e toma ações para garantir que o sistema permaneça em um faixa segura de funcionamento, de modo a não colapsar a planta, essas ações podem ser ativar uma saída relé para o acionamento de uma resistência por meio de um contator, ou realizar um controle PID (Proporcional Integral Derivativo) acionando um controlador de potência, por exemplo. Nesse capítulo será explorado alguns dos principais componentes evolvidos no sistema de controle desse componente do módulo didático, como aquisição de dados, conversões, e as ações tomadas para manter o sistema em funcionamento.

2.1.5.1 CONVERSÃO ANALÓGICO-DIGITAL (AD)

Os sinais analógicos gerados pelos sensores (resistência da PT100 ou tensão do termopar) precisam ser convertidos em valores digitais compreensíveis pelo controlador. Um conversor AD faz essa conversão. Ele amostra o sinal analógico a intervalos regulares e gera um valor digital que representa a amplitude do sinal no momento da amostragem. O valor digital resultante é normalmente expresso em quantidade de *bits*, onde a quantidade de *bits* determina a resolução da conversão e a precisão com que a temperatura é medida, quanto maior a quantidade de *bits* de amostragem melhor é a precisão do controlador.

2.1.5.2 CONTROLE DE SAÍDAS DIGITAIS E ANALÓGICAS

Com base no valor digital convertido da temperatura, o controlador compara esse valor com o valor de referência da temperatura desejada (*setpoint*), que é definido através e uma programação em sua IHM (interface homem-máquina) ou do software do dispositivo, caso tenha essa *feature*. O controlador calcula o erro, que é a diferença entre o *setpoint* e o valor atual da temperatura. Com base no erro, o controlador decide qual ação tomar para corrigir a temperatura. Para o controle, há duas saídas principais: saídas digitais e saídas analógicas.

As saídas digitais são usadas para acionar dispositivos binários, como relés ou válvulas solenoides. Se a temperatura estiver abaixo do setpoint, o controlador pode ativar um relé que liga um elemento de aquecimento. Se a temperatura estiver acima do setpoint, o controlador pode desativar o relé. Um exemplo em que a ativação ocorre é quando a sala de aula experimenta uma temperatura inferior a 10°C, levando à ativação de um contato. O acionamento energiza uma resistência de aquecimento, e quando a temperatura ultrapassa 30°C, outro contator é acionado, que por sua vez energiza um ar-condicionado. Notavelmente, tanto a resistência de aquecimento como o ar-condicionado não podem funcionar simultaneamente.

No controle da operação de válvulas proporcionais, elementos de aquecimento controlados por energia e sistemas de bombeamento que necessitam de controle de velocidade da bomba, esse controle pode ser realizado por meio de sinais analógicos. Saídas em formato analógico são utilizadas para esta finalidade, em que o controlador gera uma tensão ou corrente analógica proporcional a temperatura medida, esse sinal é lido por um *driver*, e este permite um controle mais refinado e gradual da temperatura.

Entre os métodos de comunicação de sinais analógico, que requerem consideração cuidadosa e sincronização para um funcionamento ideal estão as saídas analógicas, que incluem 0 a 10 V, 0 a 5 V, 0 a 20 mA ou 4 a 20 mA. Se a configuração estiver incorreta,

poderá resultar em danos às entradas analógicas. Assim, é crucial garantir que os dispositivos conectados estejam configurados de forma semelhante. O primeiro número da nomenclatura dos sinais analógicos significa o valor mínimo medido pelo controlador, e o segundo o maior valor de temperatura, devendo ser configurados esses valores no dispositivo que realizará a leitura, que no contexto desse trabalho será o CLP.

Usando sensores analógicos, o controlador de temperatura monitora a temperatura ambiente, converte os sinais analógicos em valores digitais, compara-os com um ponto de ajuste desejado e, em seguida, controla dispositivos de saída digitais ou analógicos para corrigir a temperatura com base em um erro calculado. Este controlador mantém a temperatura dentro da faixa desejada medindo, calculando e ajustando a temperatura de forma consistente.

2.1.6 CONTROLADOR DE POTÊNCIA

"São instrumentos utilizados para comutar e controlar a quantidade de energia transferida a um circuito de potência [...]. O princípio de funcionamento do controlador de potência constitui-se em receber em sua entrada de controle um sinal analógico linear de tensão, corrente, proveniente de um controlador de temperatura, CLP ou manualmente através de um potenciômetro e regular o tempo de condução dos tiristores, a fim de fornecer a quantidade de energia necessária ao meio controlado." (LIDER AUTOMAÇÃO, 2018).

O processo tem início com a medição da corrente e tensão na carga usando sensores especializados embutidos no controlador. Essas medições são fundamentais para computar a potência que a carga necessita.

O controlador fornece um sinal de controle, que pode ser analógico ou digital, dependendo da complexidade do sistema. Esse sinal é processado por um microcontrolador, onde algoritmos específicos são aplicados para calcular a potência de saída com base no sinal analógico proporcional proveniente do CLP. Para regular a potência fornecida à carga, o controlador utiliza um dispositivo de controle de potência, geralmente um tiristor (Silicon Controlled Rectifier - SCR) ou IGBT, que são chaves. Com o sinal de tensão, é possível ajustar as características da corrente e tensão na carga permitindo então o controle do ciclo de condução da corrente elétrica, possibilitando a variação da potência fornecida.

Esse controle é alcançado através da variação da fase da tensão de entrada determinada pelo sinal de controle. Para controlar a potência média entregue à carga, o tiristor é ativado em intervalos específicos no ciclo da onda de tensão.

Corrente, tensão e outros fatores importantes são rastreados e examinados pelo controlador antes de ajustar o sinal de controle, se necessário. Isto garante que a potência injetada na carga siga as orientações indicadas pelo instrumento de medição, que depende da própria carga para que funcione com precisão, seguindo o padrão de um controle com realimentação. A carga pode ser um aquecedor, uma resistência elétrica, uma luz incandescente ou outro dispositivo de natureza semelhante. Em suma, o objetivo é manter o poder de forma consistente e garantir que o poder mandatado seja fornecido indefinidamente.

É essencial, que para sistemas que exijam de ajuste de potência dinâmico sejam atendidas às necessidades específicas da aplicação. A incorporação de módulos de entrada e saída digitais ou analógicos pode aprimorar ainda mais os recursos de controle de energia dos controladores. Esses módulos abrem caminho para integração adicional de dispositivos e sinais além dos controles do sistema.

Ao incorporar entradas analógicas e digitais, o controle de potência pode ser adaptado para atender necessidades específicas para melhor eficiência e personalização. As entradas digitais obtêm dados de vários dispositivos, como sensores e interruptores, enquanto as entradas analógicas podem medir quantidades contínuas, como temperaturas. A capacidade de regular a quantidade de energia fornecida às cargas resistivas é obtida através de saídas analógicas, enquanto as saídas digitais controlam aparelhos de sinalização, relés e atuadores.

3 MÓDULO DIDÁTICO

O módulo didático apresentado nesse trabalho foi projetado e montado para o Laboratório de Automação Industrial da Universidade Federal de Mato Grosso, o módulo completo é constituído da placa de montagem, ventilador, controlador de potência monofásico, controlador de temperatura, controlador lógico programável, contatores, elementos de proteção, e itens gerais de montagem, como trilho DIN, parafusos, arruelas, cabos, entre outros. A **Figura 1** apresenta o estado final do módulo, já montado na bancada.

O princípio de funcionamento do módulo é trazer maior autonomia para o usuário, fazendo com que ele realize programações e parametrizações a seu desejo, se limitando as ligações realizadas fisicamente no módulo. O circuito elétrico de comando que limita essas operações será apresentado a seguir, porém é importante ressaltar que ainda sim existem inúmeras possibilidades de utilização e aprendizagem, amplificando a experiência de utilização como um todo.

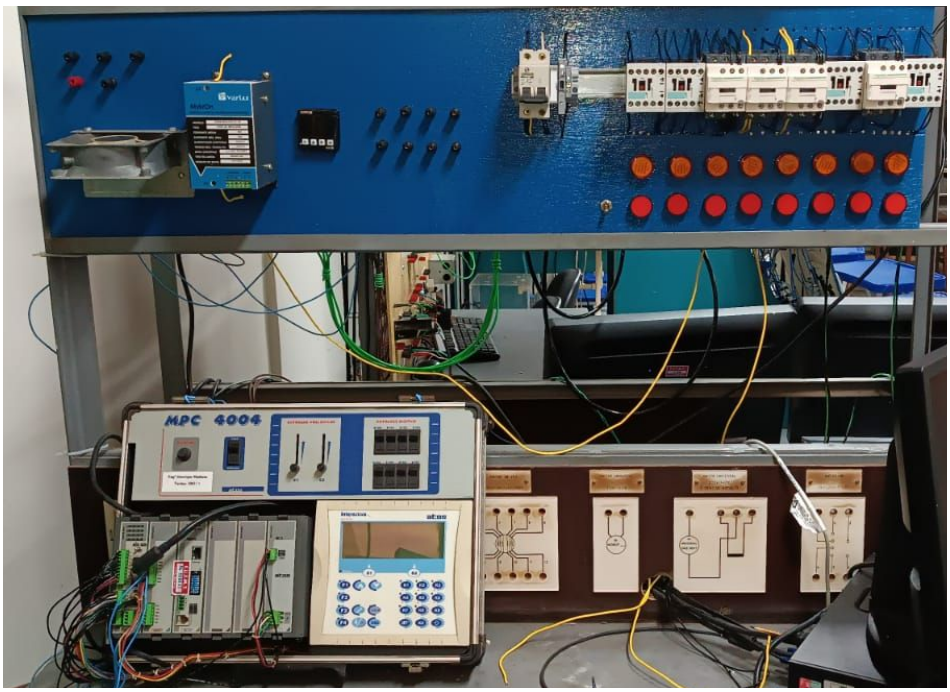


Figura 1: Módulo didático

O módulo é formado por alguns materiais que serão descritos a seguir.

3.1 CLP ATOS 4004G

O CLP ATOS 4004G inicialmente era um CLP de uma empresa brasileira, a ATOS, que foi adquirida pela Schneider Eletric no ano de 2007.

> "'A Schneider Electric optou por adquirir a Atos, uma companhia nacional, em função do forte desenvolvimento do mercado brasileiro na área de automação. Além disso, unir as empresas é uma forma de aumentar nossa competitividade no mercado de automação', afirma Willian Stefani, gerente de Desenvolvimento de Negócios da Schneider Electric Brasil." (CIMM, 2007).

A empresa brasileira foi fundada em 1974, e antes de ser comprada pela Schneider Eletric desenvolveu diversos produtos instalados em processos fabris do mundo inteiro, como CLP's, IHM's (Interface Homem-Máquina), sistemas de controle, sensores indutivos, entre outros. Um dos produtos comercializados pela empresa era o CLP utilizado no módulo, o ATOS 4004G, que atualmente não é mais vendido pela Schneider.

O CLP é composto por diversos módulos, que podem ser acoplados à necessidade da aplicação. Inicialmente deve-se entender que para toda montagem desse CLP deve ser utilizada um módulo de fonte de alimentação CC, e de uma Unidade de Processamento Central (CPU), que associada a ela existem canais de comunicação, saídas e entradas digitais, e seus modos de operação variam, de acordo com a CPU escolhida. No *datasheet* são mostradas as diversas fontes que podem ser usadas, a existente no módulo didático é a fonte com entrada de alimentação em 127-220V, com saída de 24Vcc, com capacidade de condução de 500mA na saída contínua.

Figura 2: Módulo CLP ATOS 4004

A CPU empregada é a 4004.05E, a qual é composta por oito entradas digitais do tipo NPN, oito saídas digitais também do tipo NPN, uma saída destinada à comunicação com a Interface Homem-Máquina (IHM) e uma saída com conector RJ-45 para estabelecer comunicação com um computador (para operações de download e upload de programas). Tanto as entradas quanto as saídas digitais são gerenciadas através de transistores e são compatíveis com a tensão proveniente da fonte de alimentação do próprio CLP. É imperativo conduzir uma análise minuciosa da corrente da carga associada às saídas digitais do CLP, uma vez que estas podem sofrer danos se não estiver dentro dos parâmetros adequados.

Além dos módulos essenciais, o sistema é compatível com uma unidade de expansão para entradas e saídas digitais, assim como uma unidade adicional de comunicação. O módulo dedicado a entradas e saídas digitais consiste em duas entradas e duas saídas, todas operando com sinais variando de 0 a 10Vcc.

O módulo do CLP também é beneficiado com um conjunto de chaves comutadoras para suas entradas digitais, sinalização de funcionamento das suas saídas digitais e simulação de entradas analógicas através de um potenciômetro, além de um fusível de proteção e uma chave comutadora responsável por energizar ou não o módulo.

3.2 CONTROLADOR DE TEMPERATURA NOVUS N1100

Figura 3: Controlador de temperatura Novus 1100

3.2.1 INSTRUMENTAÇÃO

"Instrumentação é a ciência que aplica e desenvolve técnicas para adequação de instrumentos de medição, transmissão, indicação, registro e controle de variáveis físicas em equipamentos nos processos industriais" (BRANDÃO, 2016).

> "Os instrumentos de controle empregados na indústria de processos (química, siderúrgica, papel etc.) têm sua própria terminologia. Os termos utilizados definem as características próprias de medida e controle dos diversos instrumentos: indicadores, registradores, controladores, transmissores e válvulas de controle. A terminologia empregada é unificada entre fabricantes, usuários e organismos que intervêm direta ou indiretamente no campo da instrumentação industrial." (NOVUS, 2020).

Como esses instrumentos são responsáveis por realizar medidas de correção dos dados coletados, então todos tem em comum algumas características, que são padronizadas, e definidas conforme o tipo de processo em que se encontra. A **Tabela 1** apresenta as nomenclaturas e descrição, apresentadas na apostila de Controladores de Processo da Novus.

Tabela 1: Nomenclaturas típicas para sistemas de controle e descrição

Faixa de Medição (*Range)*	Conjunto de valores da variável medida, que estão compreendidos dentro dos limites operacionais (inferior

	e superior) e da capacidade de medida do sistema de transmissão.
Set Point (SP) ou *Set Value* (SV)	É o valor desejado, estabelecido previamente, como referência do ponto de controle. É onde o valor controlado deve permanecer.
Variável do Processo (VP)	Qualquer quantidade, propriedade ou condição física medida a fim de que se possa efetuar a indicação e/ou controle do processo (também chamada de variável controlada).
Variável Manipulada (MV)	É a grandeza que é operada/manipulada com a finalidade de manter a variável controlada (VP) no valor desejado (SP).
Erro ou Desvio	É a diferença entre PV e SP. Pode representar um valor positivo ou negativo, dependendo da ação de controle utilizada durante o regime de controle.
Zona Morta	É a máxima variação que a variável pode ter sem que provoque alteração na indicação ou sinal de saída de um instrumento.
Processo	É qualquer operação - ou sequência de operações - envolvendo uma mudança de estado, de composição, de dimensão ou outras propriedades que possa ser definida relativamente a um padrão. Pode ser contínuo ou em batelada.

3.2.2 SENSORES DE TEMPERATURA

"São dispositivos que mudam seu comportamento sob a ação de uma grandeza física, podendo fornecer diretamente ou indiretamente um sinal que indica esta grandeza. Sua aplicação abrange medição de: Temperatura, Pressão, Umidade [...], etc." (NOVUS 2020).

Neste trabalho foi utilizado uma termorresistência como sensor. "Uma termorresistência (RTD - do inglês, *Resistance Temperature Detector*) é um sensor que permite conhecer a temperatura do meio, recorrendo à relação entre a resistência elétrica de um material e a sua temperatura. A maior parte das termorresistências são feitas de platina, mas são também utilizados outros materiais como, por exemplo, o níquel." (NOVUS, 2020).

As termorresistências comuns comercialmente são chamadas de PT100 e PT1000, que recebem esse nome devido a sua liga de platina para coleta de temperatura, estando com 100 e 1000 Ohms de resistência à 0°C, respectivamente. A liga de platina, que compõe esses sensores apresentam comportamento altamente não linear de resistência em relação à temperatura. “O coeficiente de variação da resistência com a temperatura mais usual é 0,385Ω/°C, que resulta em resistência de 138,5Ω e 1385Ω a 100°C, conforme a norma IEC 60751. Essa norma que também divide os sensores PT100 em duas classes, A e B, em função tolerância máxima de variação.” (NOVUS, 2020).

Para detectar e responder com eficácia a vários estímulos, é empregado um dispositivo denominado sensor. Com vários tipos de sensores detectando diferentes gatilhos, sua função é emitir sinais que podem ser traduzidos e decifrados por dispositivos subsequentes. Em última análise, a tecnologia de sensores atende a uma ampla variedade de finalidades de leitura e controle de dados.

De acordo com a norma IEC 60751 existem dois tipos de sensores: Classe A, que são de alta precisão, e Classe B, que têm um erro percentual maior em relação com os da Classe A. Os termorresistores Classe B atendem aos padrões IEC 60751 e possuem uma tolerância de ±0,3°C ou ±0,3% da temperatura medida. Comparado aos termorresistores Classe A, a precisão da Classe B é menor, pois sua tolerância é duas ou três vezes maior. As aplicações industriais frequentemente usam termorresistores Classe B, pois o custo é significativamente menor e a precisão não requer o mesmo padrão do uso em laboratório. Outro benefício adicional das ferramentas Classe B é sua faixa operacional mais ampla; entretanto, o erro de medição aumenta à medida que a temperatura medida aumenta, conforme ilustrado na Figura 4 do Livreto de Sensores e Transmissores de Temperatura Novus.

		Classe A		Classe B	
Range °C	Ohms	Ohms	°C	Ohms	°C
-200	18,52	±0,24	±0,55	±0,56	±1,3
-100	60,26	±0,14	±0,35	±0,32	±0,8
0	100,00	±0,06	±0,15	±0,12	±0,3
100	138,51	±0,13	±0,35	±0,30	±0,8
200	175,86	±0,20	±0,55	±0,48	±1,3
300	212,05	±0,27	±0,75	±0,64	±1,8
400	247,09	±0,33	±0,95	±0,79	±2,3
500	280,98	±0,38	±1,15	±0,93	±2,8
600	313,71	±0,43	±1,35	±1,06	±3,3
700	345,28	-	-	±1,17	±3,8
800	375,70	-	-	±1,28	±4,3
850	390,48	-	-	±1,34	±4,6

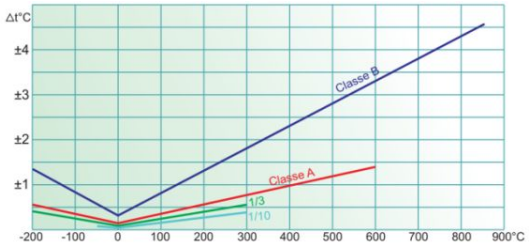


Figura 4: Variação do erro para classes de PT100 e PT1000

3.2.3 CONTROLE

3.2.3.1 TIPO DE CONTROLE

A atuação da variável manipuladora (MV) em resposta a variações da variável de processo (PV) pode ocorrer de duas maneiras distintas: ação reversa ou ação direta. Esses termos definem, de forma genérica, como a válvula manipuladora reage diante das mudanças na variável de processo.

A ação reversa implica que, quando a PV aumenta, a manipulação da MV é ajustada para diminuir. Este tipo de atuação é comumente aplicado em sistemas de controle de aquecimento, onde o objetivo é controlar e manter a temperatura em um determinado nível, ajustando a potência de aquecimento conforme a temperatura ambiente ou de um processo específico.

Por outro lado, a ação direta significa que quando a PV aumenta, a manipulação da MV é direcionada para aumentar. Esse tipo de ação é tipicamente empregado em sistemas de controle de refrigeração, onde é necessário controlar a temperatura diminuindo a quantidade de refrigeração conforme a temperatura ambiente ou do processo aumenta.

3.2.3.2 CONTROLE DE SAÍDA DIGITAL

Saídas digitais são comumente conhecidas como saídas com dois sinais distintos: “ON” (Ligado) e “OFF” (Desligado), já que acionam um comando para 100% de sua carga ou para 0%, tendo operação binária.

No contexto eletrônico, um sinal ON é frequentemente associado ao valor "1" (ou verdadeiro) e indica que algo está ativo, presente ou atendendo a uma condição desejada. Por outro lado, um sinal OFF é associado ao valor "0" (ou falso) e indica que algo está inativo, ausente ou não atende à condição desejada. Essa informação será utilizada para ocasiões em que os sinais digitais do controlador se comunicarão com o CLP do módulo didático. “Para evitar acionamentos muito frequentes da saída, existe a Histerese, que define uma diferença entre o valor de PV em que a saída liga e desliga” (NOVUS, 2020):

Tabela 2: Condições de funcionamento de sistemas de controle de temperatura

Para ação de controle reversa:	Para ação de controle direta:
Se PV >= SV, MV = 0%	Se PV >= SV – Histerese, MV = 100%
Se PV <= SV – Histerese, MV = 100%	Se PV <= SV, MV = 0%

Desse modo, entende-se que para situações em que há a comutação do relé associado à porta ON/OFF do controlador, haverá um tempo de espera para que seja possível uma nova comutação. “A escolha de um valor muito alto para a histerese resulta em uma amplitude de

oscilação muito grande. A escolha de um valor muito baixo de histerese pode causar acionamentos muito rápidos e frequentes da saída, podendo resultar em danos ao elemento de chaveamento" (NOVUS, 2020).

3.2.3.3 CONTROLE PID

O controle PID, que significa Proporcional, Integral e Derivativo, respectivamente, é um dos métodos usados no controle de sistemas dinâmicos, como controle de temperatura, pressão, velocidade, entre outros. É uma técnica de controle que aglutinar os três métodos para que não tenha um valor de acomodação curto, com um baixo valor de *overshoot*.

O componente proporcional é proporcional ao erro atual entre a variável controlada (geralmente a saída do processo) e o valor desejado (*setpoint*). Ele age imediatamente para reduzir o erro, com uma magnitude proporcional à diferença entre o setpoint e a saída atual. A ação proporcional fornece uma resposta rápida, mas pode resultar em um erro constante, especialmente em sistemas estáveis.

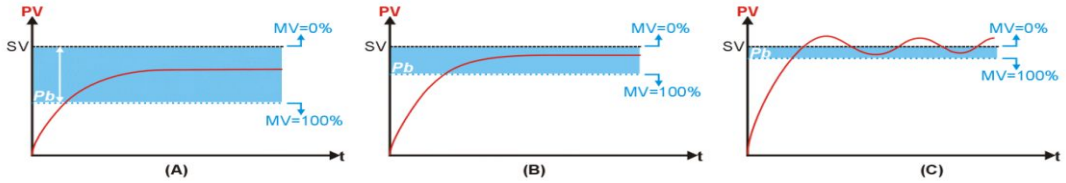


Figura 5: Ação proporcional em um sistema de controle (NOVUS,2020)

Embora o controle proporcional apresente uma aceitável eficácia em diversas aplicações, revela-se suscetível a desafios quando exposto a mudanças abruptas nos valores monitorados. Este cenário pode resultar em *overshoot*, bem como um tempo de acomodação prolongado para a variável controlada. É crucial salientar que a ação proporcional não é capaz de eliminar integralmente o erro, perpetuando uma discrepância residual. Isso evidencia que, enquanto modelo de controle isolado, sua aplicabilidade se mostra inviável.

O componente integral é proporcional à soma acumulada dos erros ao longo do tempo. Ele corrige o erro acumulado, ajudando a eliminar qualquer desvio persistente entre a saída atual e o *setpoint*. A ação integral é eficaz para eliminar o erro em estado estacionário, mas pode causar oscilações ou instabilidade em certos sistemas. "O integral não é, isoladamente, uma técnica de controle, pois não pode ser empregado separadamente de uma ação proporcional. A ação integral consiste em uma resposta na saída do controlador (MV) que é proporcional à amplitude e duração do desvio." (NOVUS, 2020).

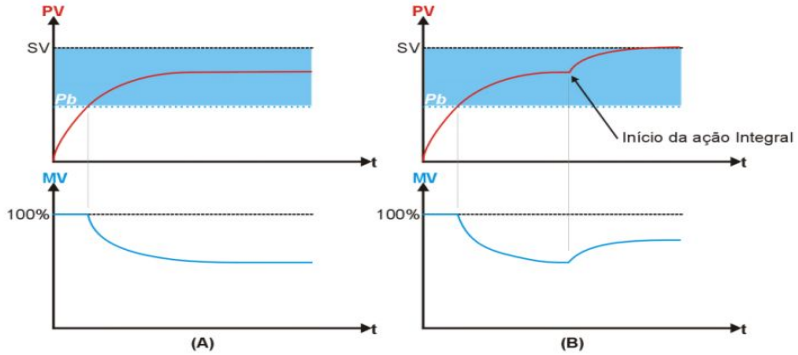


Figura 6: (a) Ação proporcional em um sistema de controle; (b) Ação Proporcional Integral em um sistema de controle (NOVUS,2020)

No âmbito do controle PI (Proporcional Integral), é digno de nota que a amplificação da parcela integral resulta em um aumento correspondente no tempo de acomodação do sistema. Este prolongamento implica uma demora adicional para atingir o *setpoint* predefinido, caracterizando um efeito diretamente proporcional entre a parcela integral e o referido tempo de acomodação.

O componente derivativo é proporcional à taxa de variação do erro com o tempo. Ele antecipa a tendência futura do erro, o que permite uma resposta rápida e suave, especialmente quando ocorrem mudanças abruptas no processo. A ação derivativa ajuda a estabilizar o sistema e reduzir as oscilações, mas pode amplificar o ruído. A previsão ocorre devido à uma resposta proporcional à velocidade de variação do desvio da variável controlada.

"O derivativo só atua quando há variação no erro. Se o processo está estável, seu efeito é nulo. Durante perturbações ou na partida do processo, quando o erro está variando, o derivativo sempre atua no sentido de atenuar as variações, sendo, portanto, sua principal função melhorar o desempenho do processo durante a ocorrência de transitórios" (NOVUS, 2020).

A integração das três ações de controle propicia um tipo de regulação que incorpora as vantagens distintas de cada uma delas, sendo, portanto, aplicável para o controle efetivo de uma ampla gama de condições em um processo. A componente proporcional atenua oscilações indesejadas, a integral corrige desvios de *offset* e a derivativa confere ao sistema uma capacidade antecipatória, mitigando potenciais desvios significativos no processo de forma preventiva.

3.2.4 SINTONIA AUTO ADAPTATIVA

A sintonia auto adaptativa é uma tecnologia presente controlador utilizado no módulo didático. A ferramenta atua continuamente no funcionamento do processo, e avalia métricas de desempenho de adaptação, e sempre que há uma piora no desempenho deste processo é iniciado um novo processo de sintonia, sendo esse chamado de PID auto adaptativo.

Figura 7: Sistema com PID auto adaptativo - N1100 (NOVUS,2020)

Como pode ser visto na **Figura 7**,onde PV (vermelho) é a variável controlada, e MV (azul) é o controle PID auto adaptativo, o controle varia se adaptando ao valor de erro lido, e tem um valor de tempo de acomodação relativamente baixo, comparado ao PID comum.

3.2.5 DETALHES DO PRODUTO - NOVUS N1100 USB 100 A 240 VAC

- Entrada universal: J, K, T, N, R, S, B, E, Pt100, 4-20 mA, 0-50 mV, 0-5 Vcc;
- Saída de controle: relé SPST 3 A / 250 Vca, mais saída programável linear 4-20 mA ou pulso lógico para relés de estado sólido;
- Alarmes: 2 relés SPST 3 A / 250 Vca (se saída de controle for 4-20 mA ou pulso lógico para relés de estado sólido);
- Interface USB 2.0, classe CDC, protocolo Modbus RTU;
- Retransmissão da PV ou SP em 0 a 20 mA ou 4 a 20 mA;
- Entrada de SetPoint Remoto (0 a 20 mA / 4 a 20 mA / 0 a 5 V / 0 a 10 V);
- Soft start programável (0 a 9999 s);
- Comunicação Serial RS-485, protocolo Modbus-RTU.

3.2.6 CONEXÕES ELÉTRICAS

A **Figura 8** apresenta as conexões elétricas referentes ao controlador N1100, da Novus. O diagrama de conexões pode ser encontrado no manual de operações do equipamento.

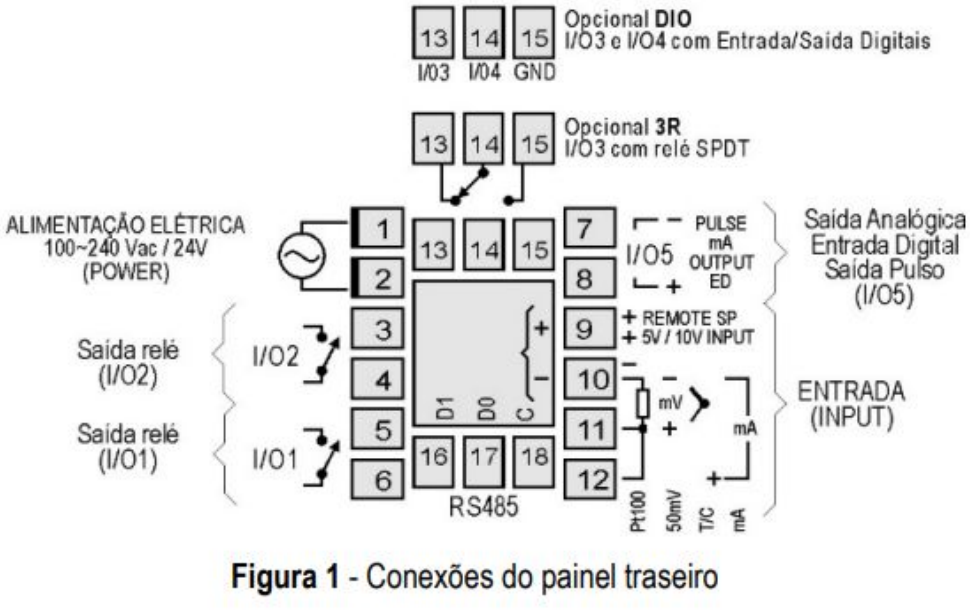


Figura 8: Diagrama de conexões do controlador N1100 (NOVUS,2020)

3.3 CONTROLADOR DE POTÊNCIA MONOFÁSICA VARIXX

Figura 9: Controlador de Potência Monofásico Varixx

O equipamento em questão, representado pela linha MyKron, é um controlador de potência projetado para o gerenciamento ~~preciso e eficiente~~ de energia em diversos processos

industriais, especialmente aqueles que envolvem cargas resistivas. Este controlador desempenha um papel vital em projetos relacionados a iluminação, fornos industriais, estufas, injetoras, extrusoras e outras aplicações.

O sistema de controle do MyKron é baseado em uma técnica chamada "Trem de Pulso", que modula a largura dos impulsos de acordo com o sinal de entrada. Essa modulação proporcional possibilita um controle extremamente preciso da potência fornecida à carga, otimizando o desempenho do processo industrial. Um aspecto fundamental é a comutação ocorrer no momento de zero tensão e corrente, reduzindo assim o risco de picos prejudiciais e garantindo um funcionamento seguro e estável.

Além disso, o MyKron se destaca na minimização de ruídos e harmônicas na rede elétrica, contribuindo para um funcionamento eficiente dos equipamentos envolvidos. Sua aplicação é ideal para o controle de potência em cargas resistivas, como aquecedores e resistores, permitindo um controle suave e preciso desses dispositivos.

É essencial destacar que o MyKron apresenta uma limitação específica no contexto de sistemas de iluminação, devido à natureza de pulsos de energia intermitentes que o controlador fornece à carga. Essa intermitência pode resultar em flutuações perceptíveis na iluminação, tornando-o inadequado para essa aplicação específica.

Os benefícios desse equipamento são notáveis, incluindo uma excelente relação custo-benefício, versatilidade para aquecimento e diversos processos, fácil instalação, operação simples e manutenção conveniente. Essas informações são baseadas nas especificações teóricas fornecidas pelo fabricante, destacando sua aplicabilidade e utilidade em uma ampla gama de aplicações industriais.

No contexto do módulo didático, o controlador de potência representado pela linha MyKron desempenha um papel crucial ao permitir o controle da temperatura de maneira analógica. Sua capacidade de modular a largura dos impulsos, conhecido como "Trem de Pulso", é particularmente benéfica ao acionar resistências de forma proporcional, o que resulta em um controle preciso e gradual da temperatura. Dessa forma, os alunos podem explorar e compreender em detalhes o funcionamento desse mecanismo, essencial para aplicações que demandam ajustes sutis e controlados de temperatura, contribuindo para uma experiência de aprendizado mais significativa no âmbito do controle de processos industriais. A integração do MyKron nesse módulo educacional oferece uma oportunidade valiosa para os estudantes aplicarem e consolidarem os conceitos teóricos relacionados ao controle de potência e temperatura em um ambiente prático e educativo.

4 PROGRAMAÇÃO DO MÓDULO

Para a programação do controlador lógico programável integrado ao módulo didático de controle de temperatura de água, a ferramenta utilizada para programação do CLP ATOS 4004G foi o WinSUP2.

A programação do CLP é estritamente executada utilizando a linguagem de diagrama de escada (Ladder), a qual é amplamente preferida para esse tipo de dispositivo devido à sua forte analogia com comandos convencionais. Na elaboração desse tipo de código, é essencial considerar o fluxo de processamento procedural, que é à maneira como as instruções de um programa são executadas em um processo de computação, seguindo uma sequência lógica e linear. Esse tipo de fluxo é característico dos paradigmas de programação procedurais, nos quais um programa é estruturado em procedimentos, funções ou rotinas, e a execução segue uma ordem predefinida de comandos.

No fluxo de processamento procedural, as instruções são executadas de cima para baixo, de uma forma sequencial, sem ramificações complexas ou desvios significativos. O programa segue uma rota linear, processando uma instrução após a outra de acordo com a ordem em que estão definidas no código fonte.

Em um programa escrito na linguagem de diagrama de escada, uma "*rung*" é uma seção horizontal individual que representa uma condição lógica ou uma ação dentro do CLP. Cada rung contém símbolos e elementos gráficos que correspondem a contatos normalmente abertos ou normalmente fechados, bem como bobinas que representam saídas ou ações. Quando o programa é executado, cada *rung* é avaliada sequencialmente, e se todas as condições da *rung* forem atendidas, as ações associadas serão executadas. As *rungs* são essenciais para a programação em Ladder, permitindo a representação visual das lógicas e sequências de controle de maneira intuitiva e hierárquica.

Todo sistema de entradas e saídas digitais, além de variáveis internas do código são descritas como contatos aberto ou fechados, e bobinas, para que sejam utilizados ao desejo do programador, ferramenta essa que gera uma infinidade de possibilidades, utilizando um espaço físico muito pequeno, quando comparado com o sistema convencional à relé. Dentro do software de programação existem diversos blocos, que realizam funções de modo a facilitar e aperfeiçoar a programação.

WINSUP2

"WinSup é um ambiente de programação que permite o desenvolvimento de uma aplicação de controle baseada na linguagem de programação *Ladder Diagrams*, sendo uma

poderosa ferramenta de desenvolvimento, documentação e manutenção de aplicações de controle, executada em ambiente *Windows*" (SCHNEIDER ELECTRICS, 2021).

Dentro do aplicativo do CLP, é possível acessar rapidamente a tela principal de programação, onde é possível visualizar a área de programação, onde são colocados os blocos de contatos, bobinas, funções, entre outros. Ao seu lado, em uma coluna de ferramentas, todos os elementos posicionáveis na área de programação estão dispostos. A lista a seguir descreve o que cada símbolo significa:

1. Insere linha: sendo auto descritivo, ao clicar na primeira função é inserida uma nova linha, ela é incorporada na linha subsequente à rung que está atualmente selecionada.
2. Abre/Fecha novo braço: Essa ferramenta é utilizada para fazer comandos com contatos em paralelo, podendo gerar combinações de lógicas com selos, ou múltiplas atividades para realizar a mesma função.
3. Comentário de linha: Insere uma linha de comentário, que será posicionada uma linha acima da rung selecionada. Comentários são importantes para direcionar o programador em futuras intervenções, ou até mesmo para que outra pessoa consiga entender o código.
4. Contatos: Os contatos funcionam como um contato comum de um contator, onde para cada contato é indexado o valor igual para uma bobina, que quando acionada modifica o valor do contato para aberto ou fechado.
5. Call/Goto: São saltos na programação. Call representa um salto com retorno, onde é chamada uma sub-rotina, e ao final do código da sub-rotina ela retorna a rung subsequente à chamada de salto. Já o goto é um salto sem retorno, que ao ser acionado o código pula a linha subsequente.
6. Monoa/Monod: São bobinas sensíveis à subida e descida de pulso. São utilizadas para criar botões liga e desliga pelo menos botão, por exemplo.
7. Bobinas: Tem a função primordial de quando acionadas mudarem o estado de alguma variável. São equivalentes a bobinas de contatores.
8. Bloco de saída: Essa função abre uma janela, que te entrega diversas funções, como contadores, blocos de set, reset, entre outros.

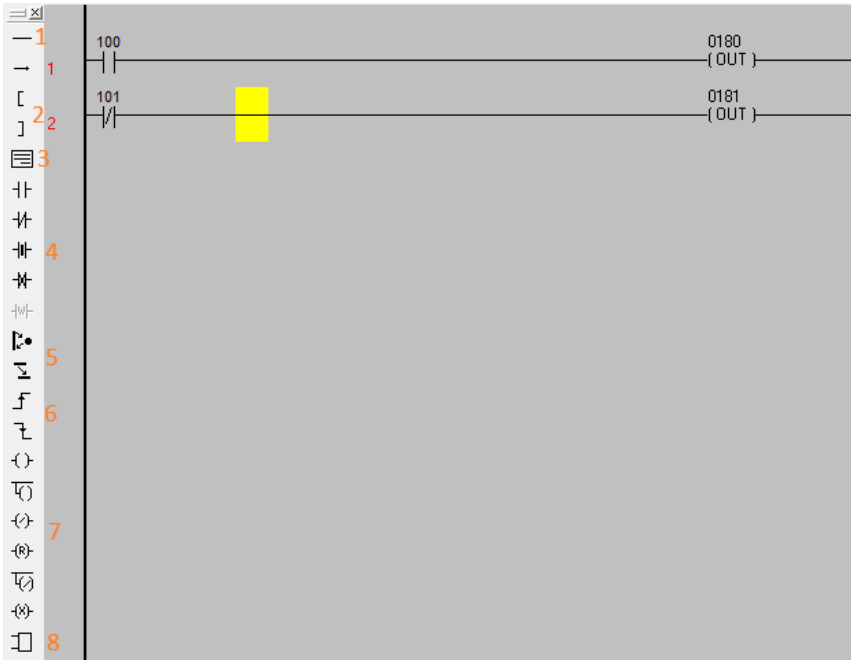


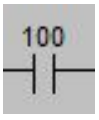
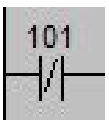
Figura 10: Tela de programação do software WinSUP2:

No presente trabalho serão apresentados os blocos que foram utilizados na programação escolhida, de modo a trazer maior facilidade de entendimento do código pelo leitor.

CONTATOS

Existem duas tipologias de contatos, cada uma com nuances distintas em suas funcionalidades. Estes elementos operam como entradas no programa, possibilitando, assim, a obtenção de informações das portas de entrada. Os contatos são posicionados na área de teste e ocupam uma parcela da grade de programação em cada rung. Uma descrição pormenorizada dos diversos tipos de contatos encontra-se apresentada na Tabela 3**.**

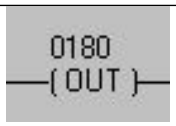
Tabela 3: Contatos em linguagem Ladder

Contato Aberto		Contato normalmente aberto, fecha quando o bit da variável for 1.
Contato Fechado		Contato normalmente fechado, abre quando o bit da variável for 1.

BOBINAS

Conforme os contatos, existem quatro variantes de bobinas com distinções sutis. As bobinas representam as saídas na lógica de programação, ou seja, são os componentes responsáveis pelo controle dos bits de memória interna, com a capacidade de alterar seu estado e, simultaneamente, gerenciar as saídas do CLP. As bobinas são posicionadas na zona de ação e ocupam um espaço na grade de programação, ao final da linha. Uma descrição abrangente dos elementos de saída pode ser encontrada na **Tabela 4**.

Tabela 4: Bobinas em linguagem Ladder

Bobina (*Out*)		O bit associado à bobina é levado à 1 quando a bobina for energizada.
Monoa		Bobina sensível à borda de subida, levando o bit associado à 1 por um período logo após ser energizado.
Monod		Bobina sensível à borda de descida, levando o bit associado à 1 por um período após ser desenergizado.

ELEMENTOS DE SALTO

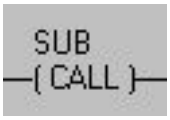
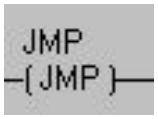
Em linguagens de programação convencionais não é comum falar sobre elementos de salto, já que eles estão inclusos nos "*if*" ou "*for*", por exemplo, mas em linguagens de baixo nível é necessário criar um fluxo de comandos que permita a execução normal do código, desviando-o para determinados endereços que são definidos pelo programador. Na maioria das linguagens existem dois tipos de saltos, que são os saltos condicionais e os incondicionais.

Os saltos condicionais permitem que o programa decida se deve ou não executar um desvio com base em uma condição específica. Se a condição for atendida, o programa realizará o salto para um determinado ponto no código; caso contrário, ele continuará a execução normal.

Os saltos incondicionais forçam o programa a realizar um desvio, independentemente de qualquer condição. Eles são usados para criar *loops*, chamar funções ou saltar para pontos específicos do código, independentemente das condições atuais. Esse tipo de salto é utilizado de forma inconsciente no código, já que sempre que se acabam as linhas de código o programa é relido.

No entanto, é importante observar que o uso excessivo de saltos incondicionais, como o "*call*", pode tornar o código difícil de entender e manter, criando o que é conhecido como "*spaghetti code*" (código espaguete), que é um código desorganizado e de difícil manutenção. Além da desorganização, é importante saber que o processador do CLP admite apenas 4 saltos com retorno por vez, apresentando instabilidade de código caso haja mais saltos subsequentes.

Tabela 5: Saltos

Call		Pula para a sub-rotina associada à bobina, o retorno ocorre no fim das linhas de código da sub-rotina, e redireciona para a linha subsequente ao *Call*.
Jump (go to)		Pula a próxima rung caso a bobina de *Jump* for energizada.

BLOCOS DE FUNÇÕES

O WinSUP2, utilizado para programar o CLP, fornece uma variedade de funções úteis para a programação, incluindo os timers. Entre essas funções, encontra-se o timer padrão, representado pelo bloco chamado de TMR.

Dentro do contexto da programação em CLP's ou sistemas de automação, as operações aritméticas e lógicas desempenham papéis cruciais. A função de soma é usada para adicionar dois ou mais valores, geralmente em formato binário, realizando a soma bit a bit. Isso é útil para calcular totais, somar contagens ou realizar cálculos de posição em sistemas de controle. Por outro lado, a função de subtração é empregada para subtrair um valor de outro, também realizando a operação bit a bit. Ela é essencial para calcular diferenças, fazer controle de estoque ou ajustar valores em sistemas de automação.

Quando se fala de blocos de função a citação de portas lógicas é impreterível. A porta lógica NOT, ou lógica de negação, tem a característica de apresentar nível lógico na saída contrário ao apresentado na entrada. Como diferencial ao ser comparado com as demais portas lógicas, a porta lógica NOT apresenta apenas uma variável de entrada. Já o XOR (OU Exclusivo) é uma operação binária que resulta em verdadeiro (1) somente quando houver um número ímpar de entradas verdadeiras. Em outras palavras, a saída será verdadeira apenas se um dos valores de entrada for verdadeiro, mas não ambos. O XOR é útil em situações em que a exclusividade de uma condição é relevante, como na detecção de bordas ou alternância de

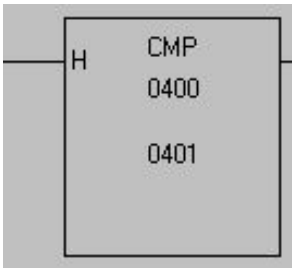
estados. Essas operações são fundamentais para a programação de sistemas de automação, permitindo que os controladores tomem decisões, realizem cálculos e controlem dispositivos de acordo com as condições especificadas no programa.

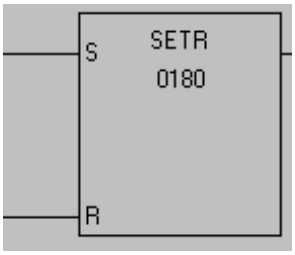
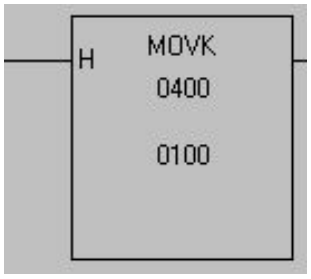
Dentro da variedade de funcionalidades, para a aplicação escolhida para o módulo apenas duas foram utilizadas, a função de comparação, e a função de *set* e *reset*. A função de comparação desempenha um papel específico e crucial, essa função permite a comparação de dois valores, representados em registradores distintos, e determina qual relação se aplica: maior que (>), igual a (=), ou menor que (<). Quando o valor no "operador 1" é maior que o valor no "operador 2", a função de comparação estabelece um nível lógico 1 no registrador 0F8. Se os valores forem iguais, a função configura o registrador 0F9 com um nível lógico 1. E quando o "operador 1" for menor que o "operador 2", a função ativa o registrador 0FA. O aspecto crucial aqui é que, assim que uma das condições é satisfeita e um registrador é ativado (definido em nível lógico 1), as outras condições de comparação são automaticamente zeradas (definidas em nível lógico 0). Isso garante que apenas uma das condições seja verdadeira de cada vez, permitindo uma lógica de controle precisa e evitando conflitos nas decisões do programa.

As funções "*Set*" e "*Reset*" são operações essenciais em CLP's que permitem controlar o estado de saídas com base em condições lógicas. A função "*Set*" é usada para ativar uma variável (nível lógico 1), sendo essa podendo ser responsável por ativar ou desativar alguma saída, enquanto a função "*Reset*" é utilizada da maneira contrária, levando alguma variável a nível lógico zero. Como o nome em inglês descreve, a função *Set* leva o nível lógico do registrador associado para 1, e o *Reset* realiza o inverso, levando-o para 0. É importante salientar que o nível lógico 1 pode significar o desligamento de um motor, já que uma variável pode receber inúmeros contatos normalmente abertos ou fechados.

No WinSUP essas funções estão dispostas em apenas um bloco, assim como descrito na Tabela 6**.**

Tabela 6: Blocos de função

CMP		Quando H recebe energização ocorre a comparação de OP1 (400) e OP2 (401).

SETR		Quando S recebe energização o operador 180 recebe 1, e quando R é energizado ele recebe nível lógico baixo.
MOVK		Move um valor constante K para um registrador. Quando H recebe nível lógico 1 o registrador 400 recebe o valor 100.

5 APLICAÇÃO

5.1 DIAGRAMA DE COMANDO

> "Um diagrama de comando é composto de ligações entre a rede elétrica de alimentação, que pode ser monofásica ou trifásica no Brasil; do dispositivo a ser acionado, um motor elétrico, por exemplo; e de componentes de abertura e fechamento de circuitos, que podem ser contatores, botoeiras, relés, disjuntores etc." (UFRN, 2023).

A representação dos componentes é feita por meio de símbolos padronizados de acordo com cada projeto, e as conexões elétricas ou sinais de controle são apresentados de forma ordenada e lógica, permitindo a visualização e análise precisa do funcionamento do sistema.

> "Como os diagramas de comando têm por finalidade não apenas o acionamento, mas também a proteção, existe a divisão de dois circuitos: o de força e o de comando. No circuito de força, circulam correntes mais elevadas e no de comando, apenas as correntes necessárias para acionar os dispositivos de seccionamento e proteção, sendo possível, assim, um isolamento dos dois circuitos proporcionando uma maior segurança ao sistema." (UFRN, 2023).

O diagrama de comando utilizado para montagem do módulo didático está descrito na Figura 11.

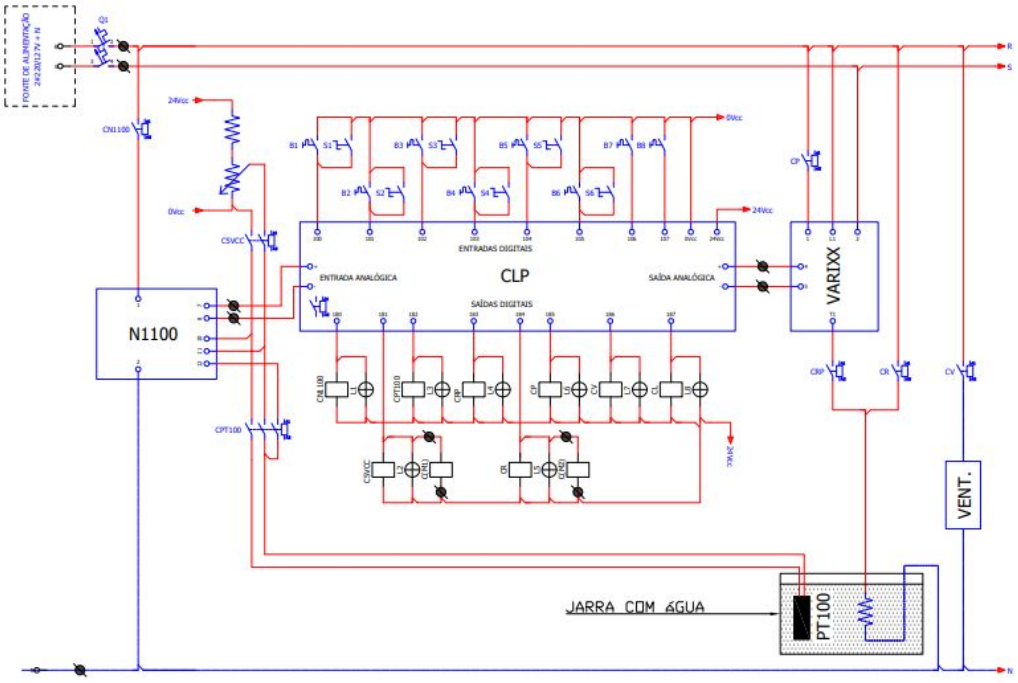


Figura 11: Diagrama de comando do sistema

De acordo com o diagrama da Figura 11, serão agora explicados o que são cada um dos componentes, bem como o seu propósito de funcionamento para o módulo didático, apresentando modos de utilização dele. Primeiramente será apresentado a fonte de alimentação do sistema, que é provido de um dos bornes da bancada utilizada, sendo uma ligação bifásica em 220V e neutro. Essa tensão é conectada à um disjuntor termomagnético de 10 *ampères,* utilizado para proteção contra curto-circuito, sobrecarga, e utilizado como chave Liga/Desliga.

No módulo existem botões de impulso que podem ser utilizados para acionar as entradas digitais do CLP, em paralelo com elas estão chaves comutadoras que já estão junto à maleta do CLP. Cada saída digital aciona um contator, que tem sua específica função, descritas na Tabela 7.

Tabela 7: Função de cada contator

NOME	FUNÇÃO
CN1100	Energiza o controlador de temperatura
C5VCC	Ativa a função de leitura de 0-5V do controlador de temperatura
CPT100	Ativa a função de leitura de PT100 do controlador de temperatura
CRP	Ativa a energização da resistência por controlador de potência
CR	Ativa a energização da resistência diretamente pela rede
CP	Energiza o controlador de potência
CV	Energiza o ventilador
CL	Energiza uma lâmpada de “Painel Energizado”

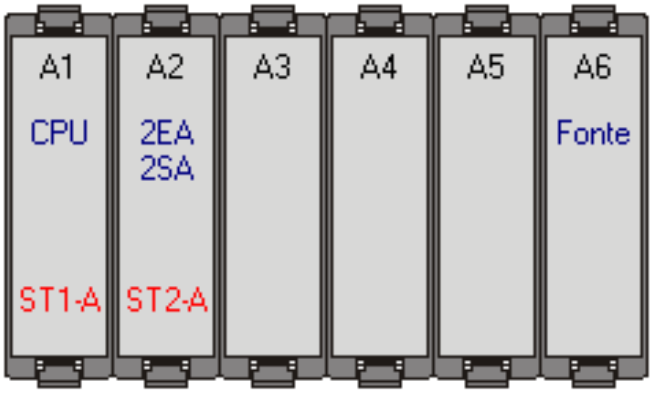
No diagrama também são apresentados alguns bornes de conexão, que se encontram na placa do módulo didático, utilizado para medições, ou para interconexão entre módulos didáticos.

5.2 CONFIGURAÇÃO DE *HARDWARE*

A configuração do hardware de um CLP é um passo crucial em qualquer sistema de automação e controle. Primeiramente, a configuração adequada do hardware envolve a seleção e instalação dos módulos e componentes necessários para o sistema, isso assegura que o CLP tenha todas as funcionalidades requeridas para controlar o sistema. Configurar o

hardware de forma inadequada pode resultar em limitações funcionais, levando à incapacidade de atender às necessidades específicas de controle do sistema.

Tendo em vista a necessidade da seleção dos módulos, utilizando o WinSUP2, foi acessada a área de “Expansões de Hardware”, em configurações de hardware, e selecionado a “Fonte de alimentação genérica”, “CPU genérica com 8E/8S” e o “Módulo analógico genérico”, que são os módulos existentes e utilizados do CLP. A CPU é composta por 8 entradas digitais e 8 saídas digitais, bem como algumas interfaces de comunicação serial. O módulo analógico possui duas entradas analógicas e duas saídas analógicas com sinal de 0 a 10Vcc.



Slot	Descrição	Jumper	Mapeamento
A1	CPU genérica com 8E/8S	ST1-A	E: 0100 S: 0180
A2	Módulo analógico genérico	ST2-A	E: 05F0 S: 06E0
A3			
A4			
A5			
A6	Fonte de alimentação genérica		

Figura 12: Tela de Expansões de Hardware

Outra configuração essencial é a da IHM (Interface Homem-Máquina), que é incorporada no módulo do CLP. O selecionado foi de acordo com o existente fisicamente, que é o LCD com duas linhas e 20 caracteres (2x20 com campos livres).

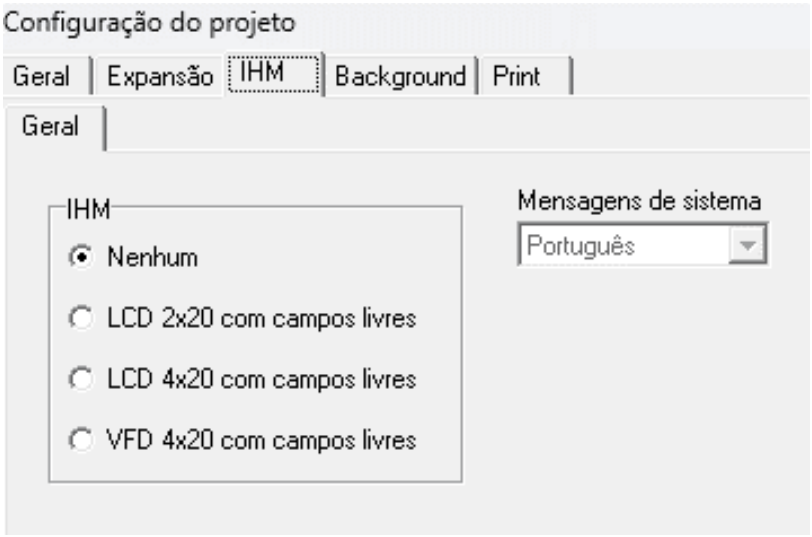


Figura 13: Tela de seleção da IHM

5.3 DESCRIÇÃO DA APLICAÇÃO

A aplicação a ser desenvolvida tem como base um sistema de controle de aquecimento, monitorado por um sensor PT100 e controlado via relé de temperatura N1100. O relé de temperatura deverá ler o sensor, e enviar um sinal de 0 a 10V para o CLP, que realizará a leitura dessa temperatura via entrada analógica. O range de operação do sistema deverá ocorrer até 60°C.

Para toda temperatura abaixo de 40°C a resistência de aquecimento será ligada diretamente pelo contator CR. Quando a temperatura atingir entre 40°C e 50°C será ligado o ventilador, através do contator CV. Caso a temperatura atinja temperatura entre 50°C e 60°C será ligado um alarme (LED aceso), e por fim, caso exceda 60°C o alarme e a resistência são desligados, e apenas o ventilador se mantém energizado, e a resistência e o alarme só voltarão a funcionar novamente caso a temperatura caia para valores abaixo de 40°C.

Deverá ocorrer tudo de forma automática, não podendo ter interferência de usuários com as ações tomadas pelo CLP. É importante perceber que além dos contatores que serão controlados pelo processo, os contatores CN1100 e CPT100 deverão estão ligados sem intermitência, ou seja, sempre acionados, para que o controlador de temperatura funcione sem interrupções.

Para implementação do código dessa aplicação foram utilizadas oito sub-rotinas, além do programa principal. Dentro dessas rotinas foram feitas comparações de temperatura e o acionamento dos contatores, respeitando a lógica descrita. Na próxima seção serão apresentadas as partes do código comentada, demonstrando como seria aplicado essa suposta atividade.

5.4 CÓDIGO

Para que seja entendido o código, é necessário entender o que cada registrador faz, e o que ele armazena. Desse modo, a **Tabela 8** descreve o significado de cada variável utilizada.

Tabela 8: Variáveis utilizadas na programação

Registrador	Tipo	Nome
0F6	Binário	Sempre Desligado
0F7	Binário	Sempre Ligado
600	Reg. Livre	Setpoint 40°C
602	Reg. Livre	Setpoint 50°C
604	Reg. Livre	Setpoint 60°C
606	Reg. Livre	Número 1
608	Reg. Livre	Número 0
800	Reg. Livre	Flag para definir se a temperatura desceu de 40°C após ser maior que 60°C
100	Binário	Entrada digital 0
180	Binário	Saída digital 0 – Controlador de Temperatura
182	Binário	Saída digital 2 – PT100
184	Binário	Saída digital 4 – Contator da Resistência
186	Binário	Saída digital 6 – Contator do Ventilador
187	Binário	Saída digital 7 – Contator do Alarme
001	Binário	Variável auxiliar 1 para botão 0
002	Binário	Variável auxiliar 2 para botão 0
5F0	Analógico	Entrada Analógica 1
0FA	Binário	Variável auxiliar de comparação. Se OP1<OP2 então Liga 0FA
0F9	Binário	Variável auxiliar de comparação. Se OP1=OP2 então Liga 0F9
0F8	Binário	Variável auxiliar de comparação. Se OP1>OP2 então Liga 0F8

5.4.1 **PRINCIPAL**

O código é iniciado pelo programa principal, que está apresentado nas seguintes figuras: Figura 14 e Figura 15.

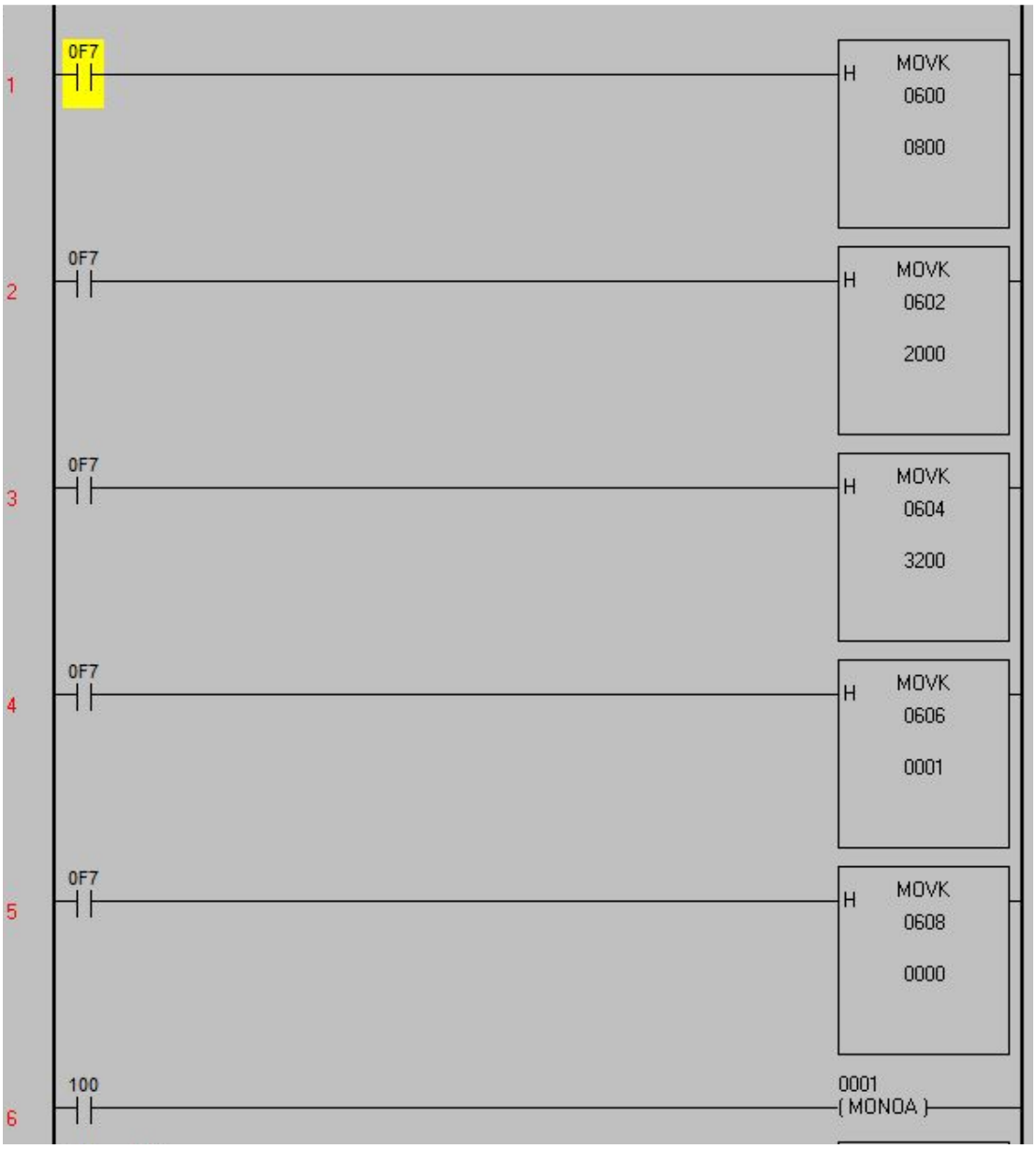


Figura 14: Programa principal – Parte 1

Como descrito na *Tabela 8*, todas as *rungs* que são conectadas somente à um contato aberto de 0F7 estará sempre energizado, ou seja, a função associada a ela sempre será realizada. Desse modo é possível entender o funcionamento do código. Inicialmente são definidos valores constantes para as variáveis de temperatura, onde 600 é equivalente à 40°C,

2000 equivale à 50°C e 3200 simboliza 60°C. Também são definidos valores de 1 e 0 para os registradores 606 e 608, que serão usados para comparar um registrador de flag. Essa etapa funciona como em todo código padrão, onde inicialmente são definidas as variáveis, para então utilizá-las como bem entender.

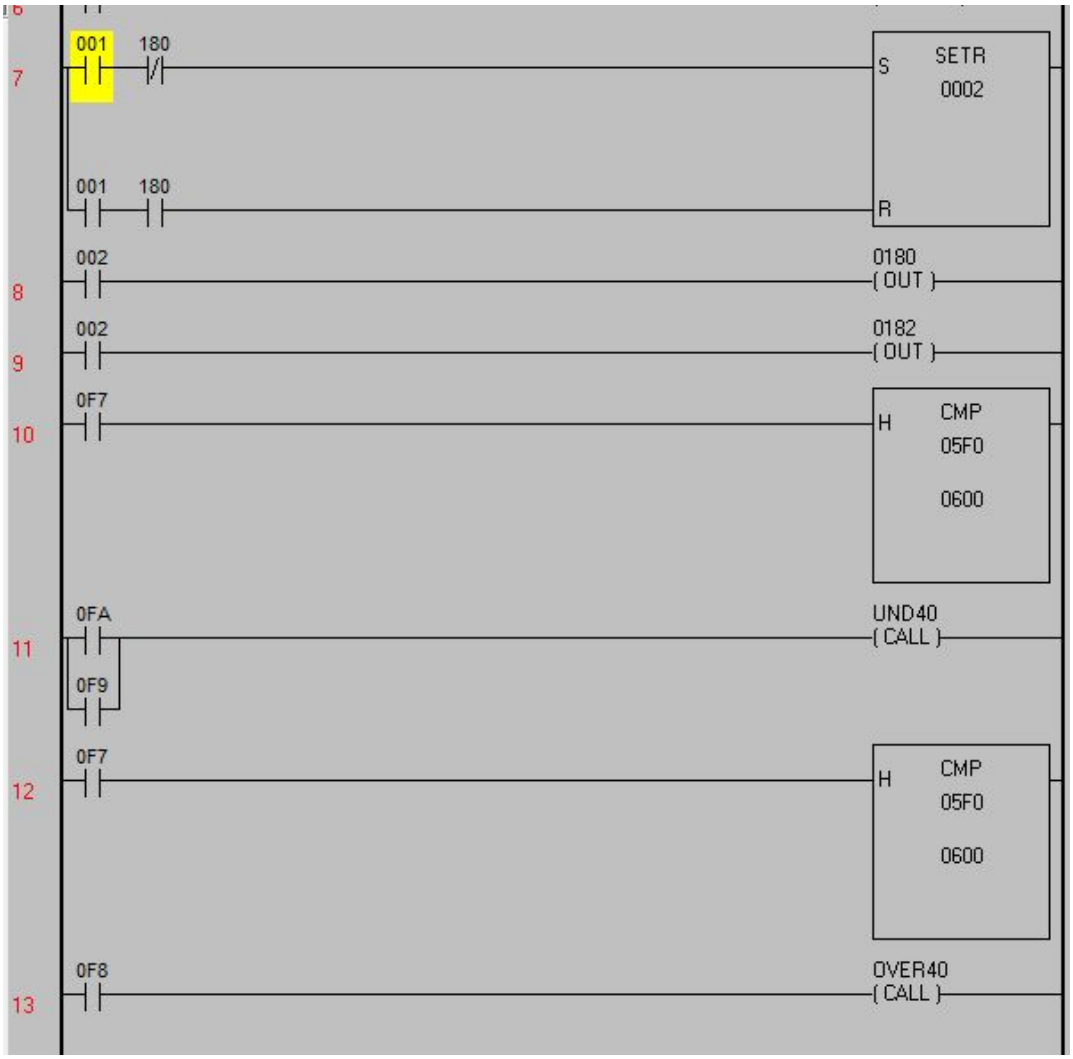


Figura 15: Programa principal – Parte 2

Após a definição de variáveis constantes, foi utilizado um artifício que o CLP proporciona, que é ligar e desligar um contator com apenas um botão de impulso. Inicialmente foi utilizado a entrada digital 0 como o botão para acionar as saídas digitais 0 e 2, que são utilizadas para energizar o controlador de temperatura e conectar o PT100 a ele. Quando o botão 0 é apertado, então é ativada uma bobina MONOA, associada ao registrador 001, que fecha os contatos da rung subsequente por um período, para entender o funcionamento é necessário saber a atual situação das saídas digitais que estão sendo usadas.

Entendendo que a saída digital 0 está desenergizada, com contato normalmente fechado (NF) associado a entrada SET está fechado, e a do ramo RESET está aberta, então o registrador 002 é levado à nível 1, energizando então as bobinas das saídas digitais 0 e 2, acionando os contatores e possibilitando o uso do controlador N1100, ao mesmo passo que os contatos da rung anterior comutam, fazendo com que ao próximo pulso do botão 0 o registrador 002 será levado ao nível lógico 0. Através dessa lógica é possível a implementação de um botão Liga/Desliga com poucas linhas de código.

Após a lógica do botão, foi iniciado o código para comparação de temperatura, que será responsável por definir qual momento do processo se está, de modo a decidir quais contatores serão acionados, visando o controle de temperatura. Inicialmente é comparado os valores da temperatura atual com o setpoint inferior, que é 40°C, ou 600, convertido digitalmente pelo CLP.

A linha inferior a comparação é referente à uma condicional para que seja acessada a sub-rotina UND40, que é a rotina responsável por atuar em situações em que a temperatura é menor que 40°C. Logo, caso o registrador 5F0 tiver valor associado menor ou igual a 600, os contator 0FA ou 0F9 iram fechar, realizando então o salto. Caso não seja menor ou igual a rung 11 será basicamente ignorada e seguirá para a próxima comparação.

A próxima comparação é o contrário da já realizada, caso 5F0 tiver valor maior que 600, então o código irá realizar um salto para a sub-rotina OVER40, já que o contato 0F8 está fechado. Após a realização das leituras das rungs descritas, então o código é relido novamente.

5.4.2 **UND40 – MENOR QUE 40°C**

Como dito anteriormente, para que seja acessada a sub-rotina UND40, o valor de temperatura lido pelo CLP deve ser menor que 40°C. Após acessada essa rotina, inicialmente é feita uma nova comparação de temperatura por redundância. E confirmado que é realmente menor que 40°C são então levados a nível lógico 0 as saídas digitais 6 e 7, desligando o alarme e o ventilador, e a saída digital 4 é energizada, ligando então o resistor de aquecimento.

Ao fim da rotina é visto um MOVK de 0 para a variável 800, que é a flag da programação, que já foi descrita. Desse modo você diz ao compilador que a temperatura abaixou de 40°C, e você iniciou o processo da elevação de temperatura do sistema. Será visto que quando a temperatura subir acima de 60°C essa flag será associada ao valor lógico 1, e só

retornará ao zero quando a temperatura for menor que 40°C. Ao fim da rotina o código volta a ser lido na linha abaixo a de chamada CALL dessa sub-rotina.

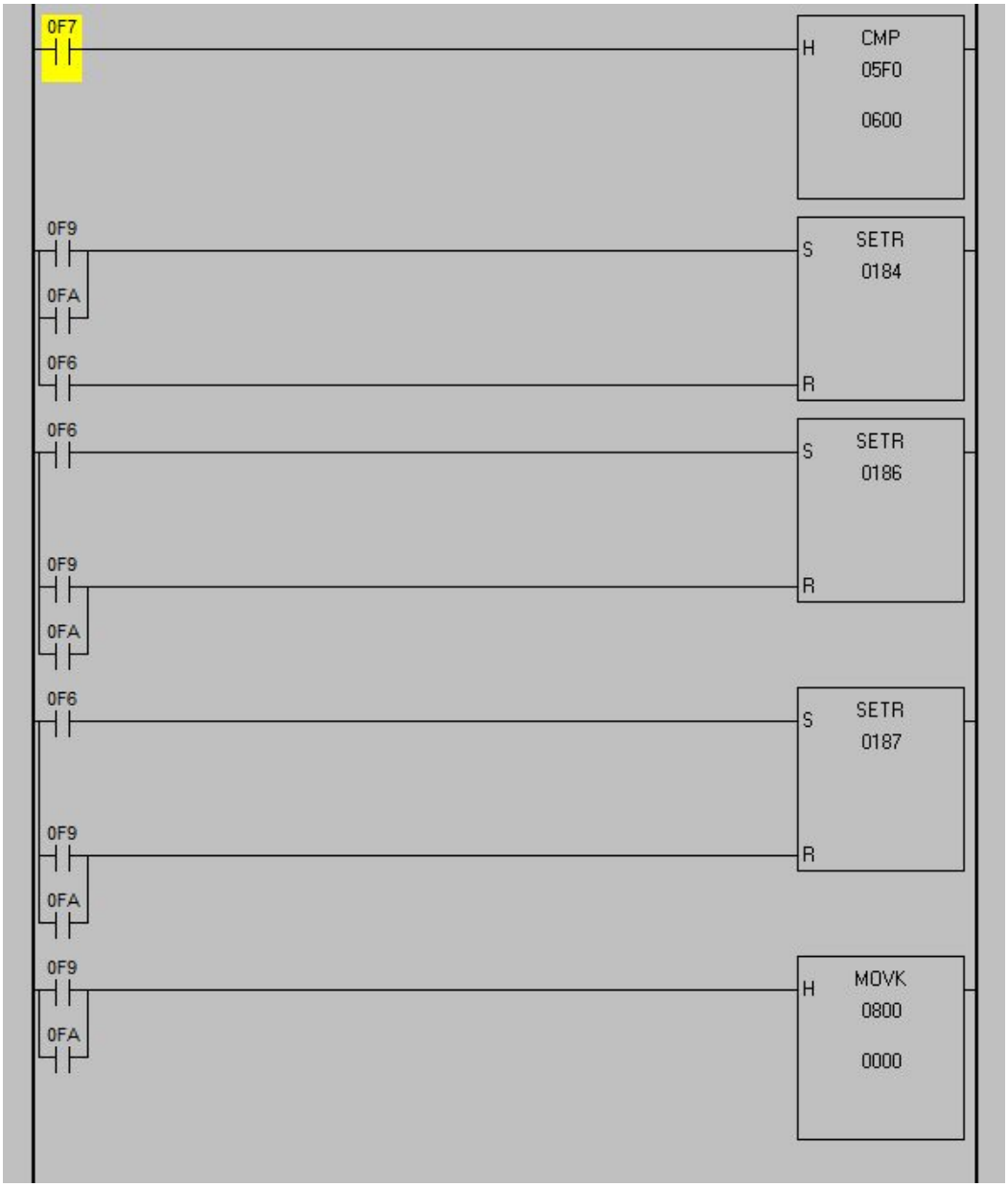


Figura 16: UND40

5.4.3 **OVER40 – MAIOR QUE 40°C**

Caso a temperatura não for menor ou igual à 40°C, mas maior, então entrara na rotina OVER40. Essa rotina é responsável por entender em qual parte do processo o sistema se encontra, em ato de resfriamento ou aquecimento da água, então é comparado o valor da flag (registrador 800) primeiramente com o valor constante do registrador 606, que é 1, e posteriormente com o valor do registrador 608, que é 0, e dependendo do caso o compilador

entra da sub-rotina FLAG1 ou FLAG0, respectivamente. Ao fim da rotina o código volta a ser lido na linha abaixo a de chamada CALL dessa sub-rotina.

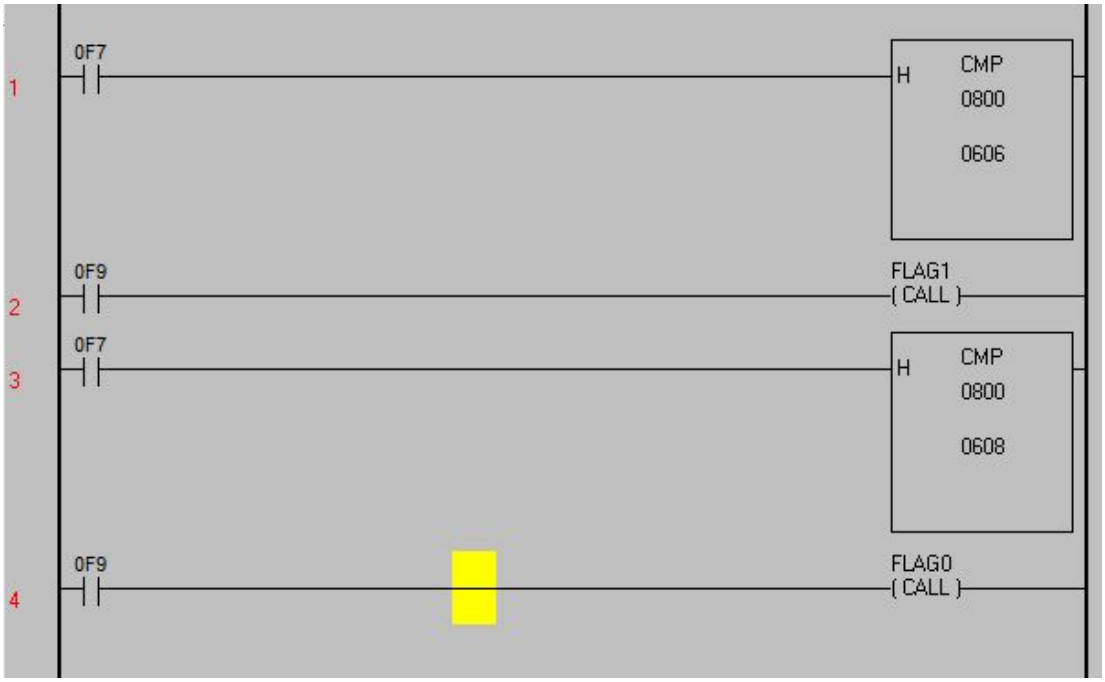


Figura 17: OVER40

5.4.4 **FLAG1 – *FLAG* DE TEMPERATURA NÍVEL 1**

Caso a flag for 1, então entende-se que o processo é de resfriamento, então apenas o ventilador é ligado, acionando apenas a saída digital 6, e desligado a 4 e 7. Ao fim da rotina o código volta a ser lido na linha abaixo a de chamada CALL dessa sub-rotina.

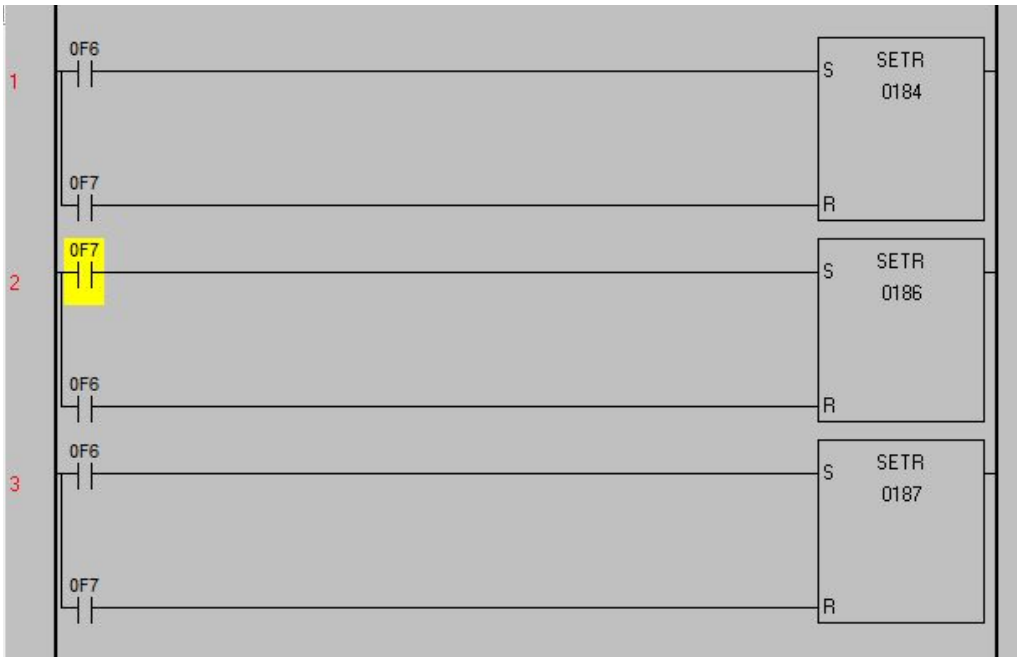


Figura 18: FLAG1

5.4.5 **FLAG0 – *FLAG* DE TEMPERATURA NÍVEL 0**

Caso a flag tenha valor nulo associado, então o sistema está em processo de aquecimento. Então novamente o valor de temperatura é comparado. Nesse ponto do código sabe-se que a temperatura é maior que 40°C, então são feitas comparações sucessivas qual o intervalo ela se encontra. Nesse caso, inicialmente é comparado o valor da entrada analógica 5F0 com o registrador 602, que é equivalente à 50°C, e caso seja menor ou igual à 50°C a sub-rotina O40U50 é acessada. Caso contrário, o código segue com a mesma comparação entre 5F0 e o registrador 602, e caso a temperatura for maior que 50°C a sub-rotina acessada é a OVER50. Ao fim da rotina o código volta a ser lido na linha abaixo a de chamada CALL dessa sub-rotina.

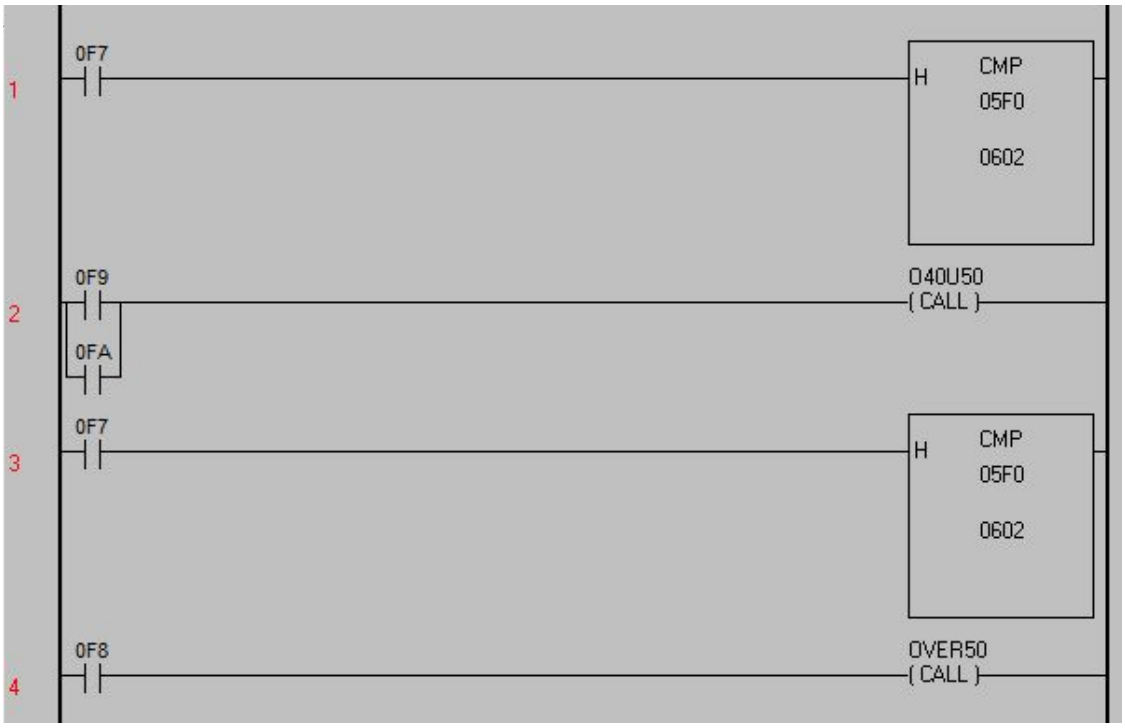


Figura 19: FLAG0

5.4.6 **O40U50 – MAIOR QUE 40°C E MENOR QUE 50°C**

Caso a temperatura esteja entre 40°C e 50°C e o sistema estiver em processo de aquecimento essa sub-rotina é acessada. Ela é responsável apenas por ligar o resistor e o ventilador, e desligar o alarme. Ao fim da rotina o código volta a ser lido na linha abaixo a de chamada CALL dessa sub-rotina.

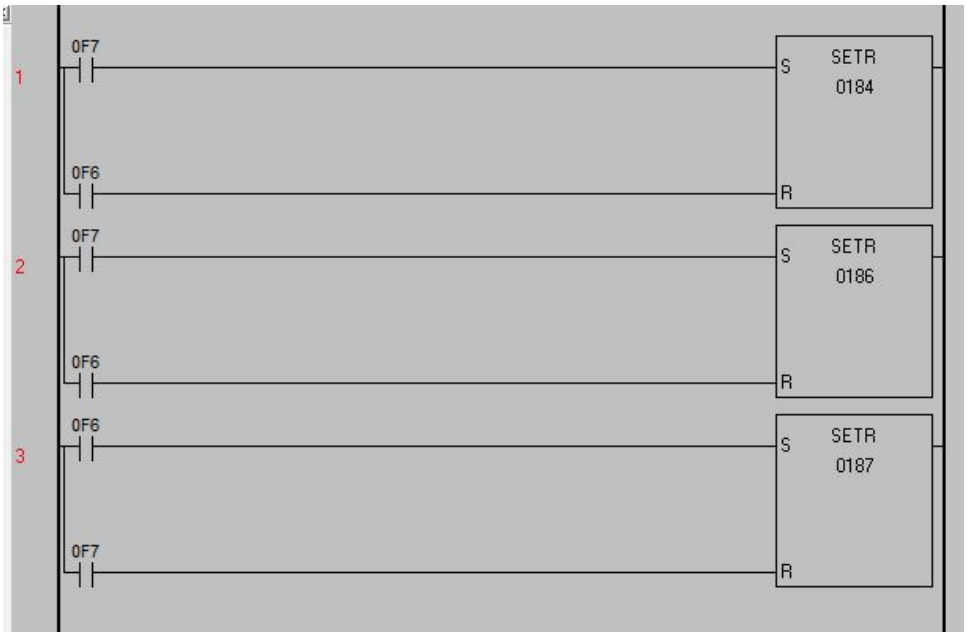


Figura 20: O40U50

5.4.7 **OVER50 – MAIOR QUE 50°C**

Caso a temperatura for maior que 50°C e estiver em processo de aquecimento da água, então essas sub-rotina é acessada. Ela é responsável por fazer a comparação entre a temperatura lida e o setpoint de 60°C, definido pelo registrador 604. Caso seja menor ou igual à 60°C a leitura, então a sub-rotina acessada é a O50U50, caso contrário será acessada a sub-rotina OVER60. Ao fim da rotina o código volta a ser lido na linha abaixo a de chamada CALL dessa sub-rotina.

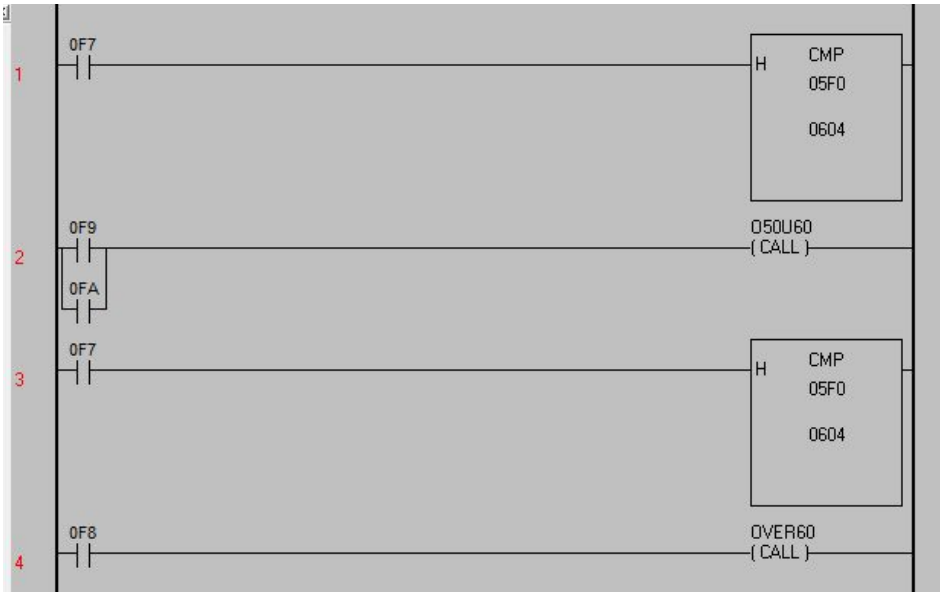


Figura 21: OVER50

5.4.8 **O50U60 – MAIOR QUE 50°C E MENOR QUE 60°C**

Caso a temperatura esteja entre 50°C e 60°C e o sistema estiver em processo de aquecimento essa sub-rotina é acessada. Ela é responsável apenas por ligar o resistor, o ventilador e o alarme. Ao fim da rotina o código volta a ser lido na linha abaixo a de chamada CALL dessa sub-rotina.

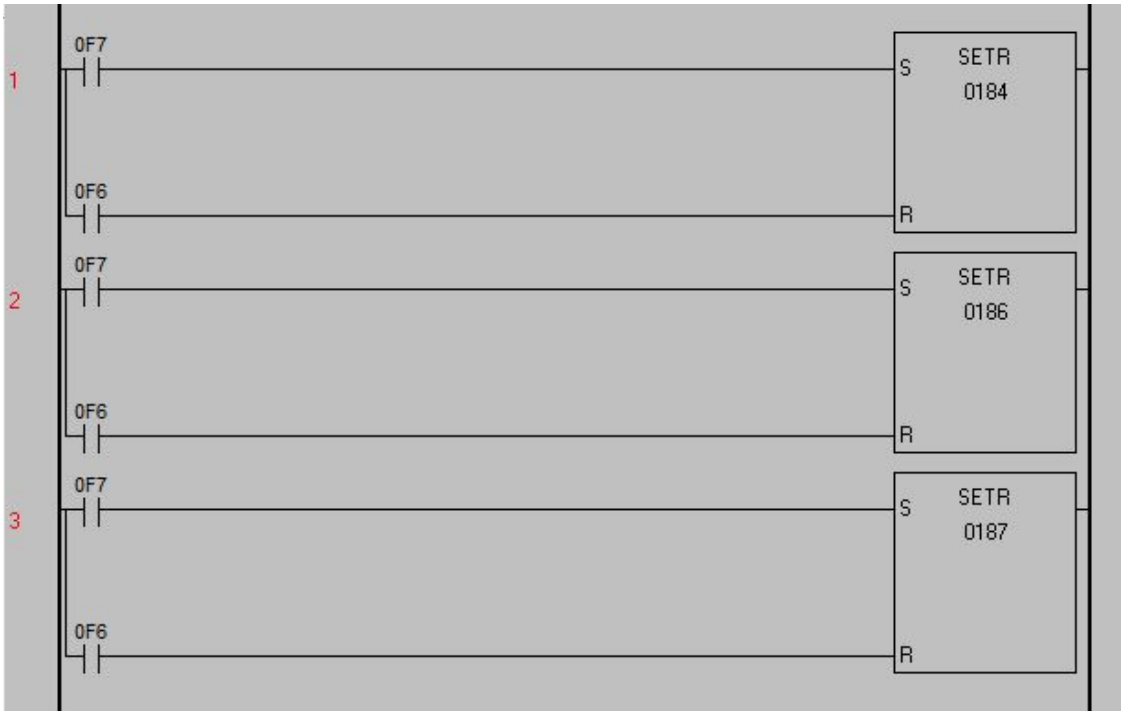


Figura 22: O50U60

5.4.9 **OVER60 – MAIOR QUE 60°C**

E como último caso, se a temperatura for maior que 60°C e estiver em processo de aquecimento a sub-rotina OVER60 é acessada. A responsabilidade associada a ela é de ligar apenas o ventilador, desligando então o resistor e o alarme. Ao fim da sub-rotina a *flag* é levada à nível lógico 1, alterando o sistema para o processo de resfriamento, até que chegue em 40°C. Ao fim da rotina o código volta a ser lido na linha abaixo a de chamada CALL dessa sub-rotina.

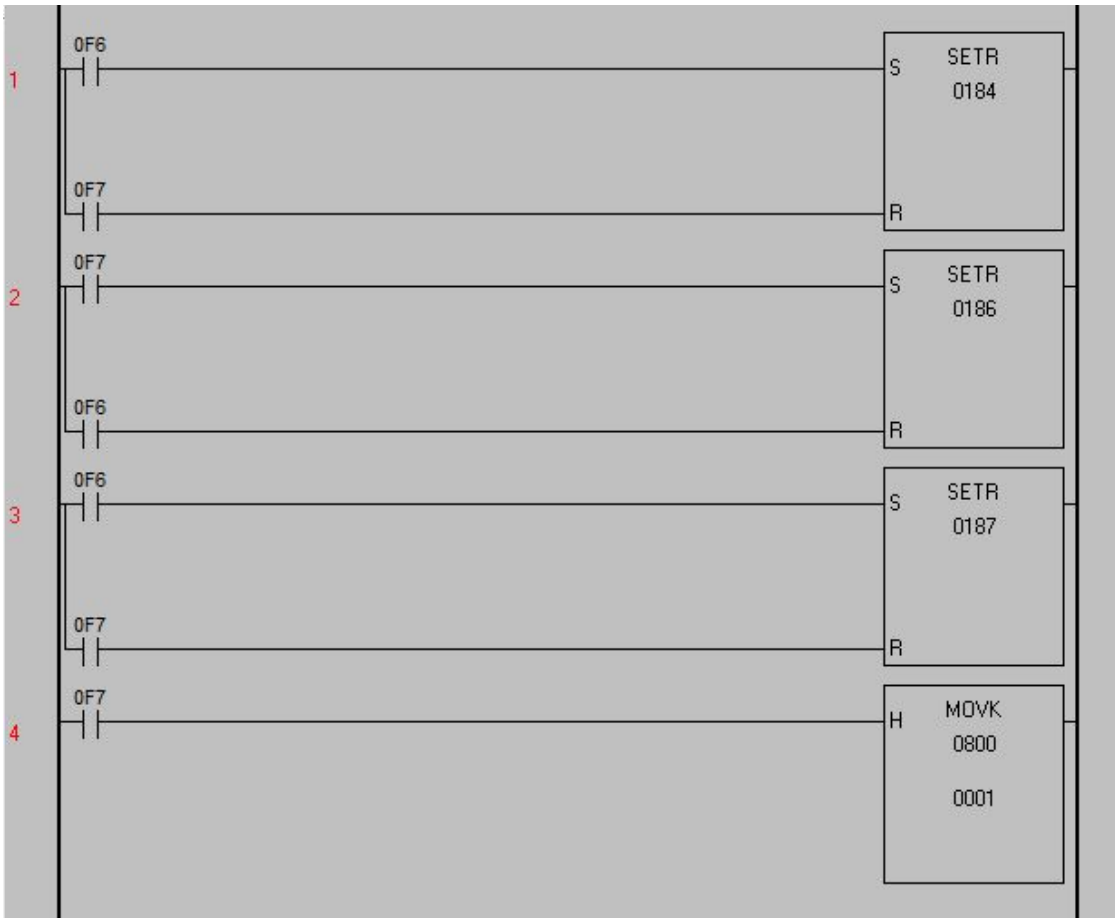


Figura 23: Over 60

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao finalizar o projeto de automação do módulo didático para sistemas de controle de temperatura de água, considera-se que os resultados de montagem e simulações obtidos foram satisfatórios, valendo todo o investimento feito em torno dele. Através da montagem ficou evidente a dificuldade de montagem física, que serviu de bagagem para a profissão de engenheiro eletricista. Também é possível identificar vários aspectos positivos sobre automação depois da realização do projeto, pois a utilização de componentes tecnológicos traz vários benefícios aos equipamentos como confiabilidade, segurança, conformidade, e além de tudo o aumento da produção, mesmo que o módulo possua limitações de utilização, devido à quantidade de materiais empregados a ele.

O sucesso do trabalho também é provindo da disponibilidade do módulo para abordagem pedagógica, visto que ele facilita a compreensão dos controles industriais, fazendo o aluno associar nuances técnicas ensinadas em aulas teóricas durante a programação e manipulação dos componentes. Através dessa interação entende-se que o aluno estará melhor preparado para suas carreiras profissionais, adquirindo durante as aulas compreensão sólida das operações dos sistemas de automação e controle industrial.

Portanto, se o estudo for feito de forma correta, apresentando características mecânicas e elétricas, o aluno conseguirá ter uma visão sistêmica do processo e não somente da parte teórica da graduação.

6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para aprimorar e expandir os benefícios do atual módulo didático educacional, sugerem-se diversas linhas de trabalho para futuras pesquisas e desenvolvimento. Inicialmente, recomenda-se a integração de um Sistema de Controle e Aquisição de Dados (SCADA) ao módulo didático, sendo esse programado pelo computador, que está associado à bancada do módulo. Essa adição permitirá que os alunos monitorem e controlem os processos de forma local, por meio das IHM’s, ou de modo remoto, via aplicativo de celular ou pelo próprio computador. Essa atividade promove uma compreensão aprofundada do gerenciamento em tempo real e das operações dos sistemas industriais.

Além disso, é sugerido utilizar o grande leque de possibilidades que o módulo propicia, como os modos de controle de temperatura, incluindo estratégias como controle PID. Essa diversificação possibilitará que os alunos compreendam as vantagens e limitações de cada abordagem.

Por fim, sugere-se a integração do módulo didático atual com outros módulos por meio de comunicação serial. Essa interação permitiria aos alunos explorarem a integração de sistemas, simular ambientes mais complexos e entender a comunicação entre diferentes dispositivos em um contexto industrial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRANDÃO, Dennis. **Notas de Aula – SEL0432 – Redes de Comunicação Industria.** Universidade de São Paulo, 2016.

CARNEIRO, Marcos Lajovic et al. **Programação genética aplicada à programação de controladores lógico programáveis**. 2009.

GOEKING, Weruska. **Da máquina a vapor aos softwares de automação**. Portal O setor elétrico, Santa Cecília, SP, 2010.

Lider Automação. **Controlador de potência**. Disponível em: < http://lideraut.com.br/produto/controlador-de-potencia>. Acesso em: 14 de outubro de 2023.

Novus Automation. **Apostila: Sensores e Transmissores de Temperatura**. Disponível em: <https://d335luupugsy2.cloudfront.net/cms/files/127540/159596624007-Apostila-Sensores_e_Transmissores_de_Temperatura.pdf>. Acesso em: 26 de setembro de 2023.

Novus Automation. **Controle PID: rompendo a barreira do tempo**. Disponível em: <https://www.novus.com.br/pt/noticia/artigo-controle-pid-rompendo-a-barreira-do-tempo>. Acesso em: 26 de setembro de 2023.

Novus Automation. **Manual N1100 v4.0x: Controlador de Temperatura PID**. Disponível em: <https://cdn.novusautomation.com/downloads/manual_n1100_v40x_k_pt.pdf>. Acesso em: 26 de setembro de 2023.

Novus Automation. **Webinar: Apostila Controle de Processos e Indicação**. Disponível em: <https://d335luupugsy2.cloudfront.net/cms/files/127540/159596819905-Webinar-Apostila_Controle_de_Processos_e_Indicacao.pdf>. Acesso em: 26 de setembro de 2023.

Schneider Electric Brasil. **Perguntas frequentes sobre Controlador Lógico Programável *(CLP)***. Disponível em: <https://www.se.com/br/pt/faqs/FA336783/>. Acesso em: 26 de setembro de 2023.

SEGOVIA, Vanessa Romero; THEORIN, Alfred. **History of Control History of PLC and DCS**. University of Lund, 2012.

UFRN (Universidade Federal do Rio Grande do Norte). **Aula 09 - Acionamentos Eletrônicos: Diagramas de Comandos**. Disponível em: <

https://materialpublic.imd.ufrn.br/curso/disciplina/2/44/9/15>. Acesso em 16 de outubro de 2023.

VARIXX. **Mykron - Controlador de Potência por Trem de Pulso**. Disponível em: < https://www.varixx.com.br/detalhes-produto/10/mykron-controlador-de-potencia-por-angulo-de-fase>. Acesso em: 28 de setembro de 2023.

VEIT, Martin; JOHRA, Hicham. **How to use Arduino UNO for low-cost temperature measurements with Pt 100 sensors**. 2022.