



Jonatan Ponciano

**Desenvolvimento e Automatização de um Protótipo de Geração de Frio para
Análise de Sinais de Temperatura e Pressão com Visualização em IHM**

Horizontalina - RS

2025

Jonatan Ponciano

**Desenvolvimento e Automatização de um Protótipo de Geração de Frio para
Análise de Sinais de Temperatura e Pressão com Visualização em IHM**

Trabalho Final de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em engenharia de Controle e Automação na Faculdade Horizontina, sob a orientação do Prof. Fabrício Desbessel e coorientador João Michel Machado de Oliveira.

Horizontina - RS

2025

FAHOR - FACULDADE HORIZONTINA
CURSO DE ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova o trabalho final de curso

**“Desenvolvimento e Automatização de um Protótipo de Geração de Frio para
Análise de Sinais de Temperatura e Pressão com Visualização em IHM”**

**Elaborada por:
Jonatan Ponciano**

Como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia de Controle e Automação

Aprovado em: / /2025
Pela Comissão Examinadora

Titulação. Fabrício Desbessel
Presidente da Comissão Examinadora - Orientador

Me. João Michel Machado de Oliveira
Presidente da Comissão Examinadora - Orientador

Titulação. Nome do Examinador Interno
FAHOR – Faculdade Horizontina

**Horizontina - RS
2025**

À minha família, pela base sólida que sempre representou em minha vida. À minha esposa Raquel, pelo amor, apoio incondicional e por caminhar ao meu lado em todos os momentos. À minha mãe Iara, cujo cuidado e dedicação me deram força e esperança nos dias mais difíceis. Ao meu pai Vilmar, por ser presença constante de segurança e inspiração ao longo dessa jornada.

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de um protótipo automatizado para o controle e monitoramento de variáveis térmicas e de pressão em sistemas de geração de frio, com visualização em Interface Homem-Máquina (IHM). A crescente demanda por eficiência operacional e precisão nos processos industriais, especialmente no setor de refrigeração, motivou a criação de uma solução que integrasse sensores de temperatura e pressão a um Controlador Lógico Programável (CLP). Por meio da programação na linguagem *Ladder*, utilizando o *software LOGO! Soft Comfort* foi possível simular o funcionamento de um circuito frigorífico automatizado, monitorando e controlando variáveis em tempo real. A metodologia adotada combinou pesquisa bibliográfica e aplicação prática por meio de um protótipo funcional, estruturado em etapas de planejamento, montagem, programação, testes e análise dos resultados. O sistema desenvolvido permite a aquisição contínua de dados, acionamento automático de equipamentos e exibição das informações na IHM, contribuindo para a redução de falhas humanas e o aprimoramento da gestão de processos. Os resultados obtidos demonstraram que a automação proposta é viável, eficiente e adaptável às necessidades industriais, proporcionando uma readequação técnica e representando uma solução promissora para sistemas de refrigeração. Além disso, o projeto evidencia a importância da integração entre *hardware* e *software* no contexto da Indústria 4.0, promovendo a modernização tecnológica, a economia de recursos e a segurança operacional. A aplicação prática do sistema validou as hipóteses levantadas, reforçando o papel estratégico da automação na otimização dos processos térmicos industriais.

Palavras-chave: Protótipo de controle sistema de frio. Programação *Ladder* CLP *LOGO!* em sistema de frio. Automação de sistemas de geração de frio. Interface Homem-Máquina para sistema de frio.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 — Representação esquemática do Ciclo de Carnot aplicado à refrigeração - Ciclo Termodinâmico.....	13
Figura 2 – Esquema do compressor em sistemas de HVAC-R. 2022.....	15
Figura 3 – Trocador de calor	16
Figura 4 – Dispositivo de expansão	16
Figura 5 – Representação dos padrões de tubulação de escoamento	19
Figura 6 – Sensor de temperatura do tipo RTD PT100	20
Figura 7 – Transdutor de pressão 4 a 20mA.....	21
Figura 8 – Controlador lógico programável	22
Figura 9 – Interface Homem-Máquina.....	23
Figura 10 – Exemplo de instruções em linguagem <i>Ladder</i>	24
Figura 11 – Plataforma oficial de desenvolvimento <i>LOGO! Soft Comfort</i>	25
Figura 12 – Diagrama unifilar.	26
Figura 13 — Desenvolvimento do projeto de pesquisa	28
Figura 14 – Etapas para o desenvolvimento do protótipo	28
Figura 15 — Fluxograma do Protótipo de Gerador de Frio	31
Figura 16 — Protótipo de Gerador de Frio	32
Figura 17 — Estrutura metálica.....	33
Figura 18 — Posição dos Transdutores de pressão	34
Figura 19 — Arquitetura do painel elétrico	35
Figura 20 — LED1 e LED2.....	36
Figura 21 — Botão de emergência.....	37
Figura 22 — Interface Homem-Máquina (IHM)	38
Figura 23 – <i>Network Project</i> no <i>LOGO! Soft Comfort</i>	40
Figura 24 – <i>Network Project</i> no <i>LOGO! Soft Comfort</i>	40
Figura 25 – <i>Lógica</i> “Liga Sistema”.....	41
Figura 26 – Função temporizador	42
Figura 27 – Leitura dos sinais	42
Figura 28 – M30 Indicação de sinalização visual	44
Figura 29 – Leitura dos sinais Figura	44

Figura 30 – Saída digital Q2	45
Figura 31 – Tecla F1 e F2	46

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
1.1	TEMA	9
1.2	DELIMITAÇÃO DO TEMA.....	9
1.3	PROBLEMA DE PESQUISA	9
1.4	OBJETIVOS	10
1.4.1	Objetivo geral	10
1.4.2	Objetivos específicos.....	10
1.5	JUSTIFICATIVA	10
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	12
2.1	PROTOTIPAGEM	12
2.2	GERADORES DE FRIO	12
2.2.1	Compressor	14
2.2.2	Trocadores de Calor.....	15
2.2.3	Dispositivo de Expansão	16
2.2.4	Fluidos Refrigerantes.....	17
2.2.5	Tubulações de escoamento	18
2.3	SENSOR DE TEMPERATURA E TRANSDUTOR DE PRESSÃO	19
2.3.1	Sensor de temperatura PT100	19
2.3.2	Transdutor de pressão.....	20
2.4	CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL	21
2.5	INTERFACE HOMEM-MÁQUINA	23
2.6	PROGRAMAÇÃO LADDER	23
2.7	INTEGRATED DEVELOPMENT ENVIRONMENT (IDE) PARA PROGRAMAÇÃO DO CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL (CLP) SIEMENS LOGO! 24RTD ..	25
2.8	CIRCUITO ELÉTRICO	26
3	METODOLOGIA	27
3.1	PLANEJAMENTO DO PROJETO	27
3.2	RECURSOS NECESSÁRIOS	29
4	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	31
4.1	CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA DE GERADORES DE FRIO	31
4.2	PROTOTIPAGEM	32
4.2.1	Desenvolvimento do protótipo.....	32
4.2.2	Desenvolvimento do circuito elétrico.....	34
4.2.3	Programação da CLP Siemens LOGO! 24RCE	39
	CONCLUSÃO	47
	REFERÊNCIAS.....	49
	APÊNDICE – PROGRAMAÇÃO.....	54

1 INTRODUÇÃO

A automação industrial tem se mostrado eficiente na modernização de equipamentos antigos, especialmente por meio da readequação técnica (*Retrofit*) aplicado à otimização de processos e ao aumento da eficiência operacional. Seu desenvolvimento ganhou relevância nas últimas décadas do século XX, período marcado por restrições tecnológicas e elevados custos que limitavam sua implementação em larga escala (Paiola; Vieira, 2009). Com os avanços da tecnologia da informação e a disseminação de equipamentos computacionais mais acessíveis e eficientes, ampliaram-se as possibilidades de aplicação da automação, promovendo maior integração e controle nos sistemas produtivos.

Desta maneira a automação industrial se tornou uma ferramenta essencial para o aumento da eficiência, da confiabilidade e da segurança em diversos processos produtivos. No contexto dos sistemas de refrigeração, o controle preciso de variáveis como temperatura e pressão é determinante para assegurar a estabilidade térmica, a conservação dos produtos e a integridade operacional. Com base nessa demanda, este trabalho propõe o desenvolvimento de um protótipo funcional de uma câmara fria automatizada, empregando tecnologias de automação voltadas ao monitoramento e controle térmico em tempo real.

O sistema proposto utiliza um Controlador Lógico Programável (CLP) *Siemens LOGO! 24RCE* como unidade central de controle, integrado a sensores de temperatura e transdutores de pressão. A lógica de controle, desenvolvida em linguagem *Ladder* por meio do *software LOGO! Soft Comfort*, contempla funcionalidades como temporizações, intertravamentos, acionamento automático de compressores e ventiladores, bem como alarmes visuais para indicação de desvios operacionais.

A Interface Homem-Máquina (IHM) implementada permite a visualização intuitiva das variáveis monitoradas, contribuindo para a supervisão eficiente do processo. A aplicação prática do protótipo evidencia os benefícios da automação no aprimoramento do desempenho térmico, com destaque para a redução de falhas humanas, a resposta rápida a anomalias e a coleta contínua de dados para manutenção preditiva.

Esse projeto se alinha aos princípios da Indústria 4.0 ao integrar sensores inteligentes, processamento lógico e interfaces de supervisão acessíveis. Dessa forma, apresenta-se como uma solução viável para setores industriais que exigem controle térmico rigoroso, como os segmentos alimentício, farmacêutico e logístico, promovendo maior estabilidade operacional e qualidade no armazenamento de produtos sensíveis à temperatura.

1.1 TEMA

Automação de um sistema de geração de frio para controle e monitoramento de processos térmicos.

1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Desenvolvimento de um protótipo voltado à leitura e ao controle de variáveis em um sistema frigorífico, utilizando a programação de um Controlador Lógico Programável (CLP) integrado a sensores de temperatura e pressão, com exibição das leituras em tempo real por meio de uma Interface Homem-Máquina (IHM).

1.3 PROBLEMA DE PESQUISA

- Como a readequação técnica, por meio da automação com Controladores Lógicos Programáveis (CLPs), pode contribuir para modernizar sistemas de geração de frio antigos, substituindo o controle analógico de temperatura e pressão por soluções digitais mais eficientes?
- Quais benefícios operacionais podem ser alcançados com a integração de sensores industriais, Controladores Lógicos Programáveis (CLPs) e Interface Homem-Máquina (IHM) na modernização de sistemas frigoríficos anteriormente controlados por tecnologias analógicas?

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo geral

O objetivo deste trabalho é programar um Controlador Lógico Programável (CLP) para o controle automatizado de um circuito frigorífico, integrando sensores de temperatura e pressão.

1.4.2 Objetivos específicos

- Pesquisar o funcionamento dos geradores de frio e as tecnologias atuais utilizadas na automação desses sistemas;
- Selecionar os componentes eletrônicos e sensores adequados para o controle automatizado do circuito frigorífico;
- Desenvolver a lógica de programação do Controlador Lógico Programável (CLP) e a interface homem-máquina (IHM), com o objetivo de viabilizar a demonstração, a leitura e a transmissão dos dados do sistema;
- Realizar a montagem, testes experimentais com o protótipo e ajustes para aprimorar sua aplicabilidade no processo industrial.

1.5 JUSTIFICATIVA

A intensificação da demanda por altos níveis de produtividade e eficiência, associada à necessidade de garantir qualidade e confiabilidade nos processos industriais, tem impulsionado os investimentos em tecnologias voltadas à automação industrial. No contexto dos sistemas de refrigeração, esse cenário exige a adoção de soluções automatizadas que otimizem o controle de variáveis críticas, como temperatura e pressão, assegurando maior precisão operacional. Dessa forma, torna-se essencial que as empresas do setor busquem o contínuo aperfeiçoamento tecnológico para manter sua competitividade em um mercado cada vez mais exigente (Freitas; Souza; Lemos, 2020).

No setor de refrigeração, essa tendência se intensifica diante da necessidade de assegurar a eficiência operacional e a adequada conservação de produtos perecíveis em ambientes controlados. Um dos principais desafios nesse cenário é a obtenção de dados precisos sobre variáveis críticas, como temperatura e pressão,

sobretudo em sistemas compostos por equipamentos fisicamente distribuídos ao longo da planta industrial, muitos desses equipamentos ainda operam com sistemas de controle analógicos, limitando a capacidade de monitoramento contínuo e a resposta rápida frente a falhas.

Nesse contexto, a readequação técnica ou mais conhecido como, *retrofit*, entendido como a modernização de sistemas antigos por meio da substituição de componentes obsoletos por soluções digitais, configura-se como uma alternativa eficaz. A automação com Controladores Lógicos Programáveis (CLPs) representa uma solução confiável, uma vez que a integração de sensores e transdutores ao CLP permite a leitura contínua e automatizada de variáveis essenciais do processo frigorífico, como temperatura, pressão. Essa configuração permite a coleta de dados em tempo real e com precisão, fornecendo subsídios para o controle eficiente do sistema e a tomada de decisões operacionais. Além disso, a comunicação direta entre os dispositivos e o CLP contribui para a resposta rápida a variações nas condições de operação, promovendo maior estabilidade e confiabilidade ao processo.

A proposta deste trabalho visa, portanto, contribuir para a modernização da automação em sistemas de refrigeração, demonstrando, por meio de um protótipo funcional, a viabilidade da implementação do controle automatizado e da exibição dos dados por meio de uma Interface Homem-Máquina (IHM), com o uso de Controladores Lógicos Programáveis (CLPs). Além de otimizar o uso de recursos humanos, a solução proposta pode representar um avanço significativo em termos de segurança operacional e eficiência na gestão de processos industriais.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O embasamento teórico deste trabalho tem por finalidade buscar conceitos básicos relacionados à prototipagem aplicada à automação de um gerador de frio. Além disso, propõe-se a análise dos princípios e das técnicas empregadas na medição e no controle de variáveis presentes no sistema aplicado na indústria, com ênfase na integração entre instrumentação e desempenho operacional.

2.1 PROTOTIPAGEM

A prototipagem é uma etapa essencial no desenvolvimento de sistemas e produtos, especialmente em contextos de engenharia e automação. Trata-se de um processo iterativo que visa construir representações físicas ou funcionais de um sistema, com o objetivo de validar conceitos, testar funcionalidades e identificar possíveis melhorias antes da produção em larga escala (Pahl et al., 2005).

No âmbito da engenharia, a prototipagem permite a integração entre projeto mecânico, eletrônico e de software, proporcionando uma visão clara do desempenho do sistema em condições reais ou simuladas. Segundo Pressman (2016), a prototipagem é fundamental para reduzir incertezas durante o desenvolvimento de sistemas automatizados, promovendo maior assertividade no processo de tomada de decisões.

Existem diferentes abordagens de prototipagem, como a prototipagem de baixa fidelidade, utilizada para validação de ideias iniciais, e a prototipagem de alta fidelidade, que envolve a construção de modelos mais próximos da versão final do produto. Na área de automação industrial, a prototipagem funcional permite testar sensores, atuadores, controladores e interfaces homem-máquina (IHM) em escala reduzida, viabilizando ajustes e melhorias antes da aplicação definitiva.

2.2 GERADORES DE FRIO

Um gerador de frio é um equipamento projetado para promover a redução de temperatura em ambientes específicos, sendo essencial em processos que exigem controle térmico rigoroso, como o armazenamento e transporte de produtos perecíveis, climatização de ambientes, sistemas industriais e operações nos setores químico e farmacêutico (Çengel; Ghajar, 2012). Seu funcionamento se baseia em

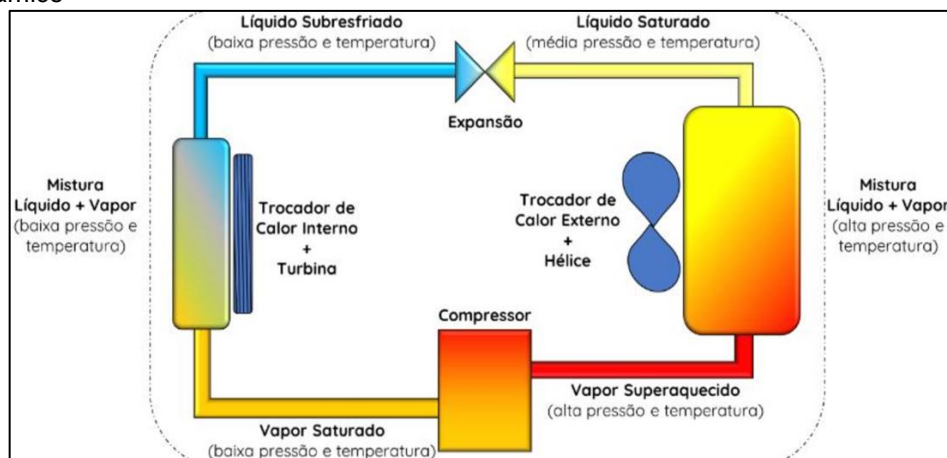
ciclos termodinâmicos que promovem a transferência de calor de um meio para outro, utilizando um fluido refrigerante em um circuito fechado.

O sistema de geração de frio baseia-se, em grande parte, no ciclo de Carnot, Figura 1, um modelo termodinâmico ideal que descreve o funcionamento de uma máquina térmica operando entre duas fontes de calor a diferentes temperaturas. Esse ciclo é composto por quatro transformações reversíveis, duas isotérmicas e duas adiabáticas. No contexto da refrigeração, o ciclo de Carnot estabelece o limite teórico de eficiência que um sistema frigorífico pode atingir (Universidade de Brasília, 2014).

Embora os sistemas reais não alcancem essa eficiência máxima devido às irreversibilidades e perdas naturais dos processos físicos, o modelo de Carnot continua sendo um parâmetro essencial para a análise e otimização de projetos. Ele permite estimar a performance energética e fundamentar decisões técnicas sobre a escolha e dimensionamento de componentes (ABENGE, 2014).

Segundo a Universidade de Brasília (2014), o trabalho de Sadi Carnot foi fundamental para o desenvolvimento da termodinâmica, fornecendo a base teórica para a compreensão dos limites das máquinas térmicas. Já a Associação Brasileira de Educação em Engenharia (ABENGE, 2014) destaca que a eficiência de um sistema térmico depende diretamente da diferença de temperatura entre as fontes envolvidas, sendo essa relação essencial no desenvolvimento de tecnologias de aquecimento e refrigeração.

Figura 1 — Representação esquemática do Ciclo de Carnot aplicado à refrigeração - Ciclo Termodinâmico



Fonte: GB Consultoria e Formação, 2025

Os sistemas de refrigeração são, em geral, classificados em três categorias principais: compressão de vapor (SCV), absorção e ejetor (ASHRAE, 2013).

Neste estudo, foi desenvolvido utilizando o sistema de refrigeração por compressão de vapor (SCV).

O SCV opera com base em um ciclo termodinâmico que promove a transferência de calor do ambiente refrigerado para o meio externo, por meio da circulação de um fluido refrigerante.

O funcionamento do sistema envolve quatro etapas fundamentais: compressão, condensação, expansão e evaporação. O ciclo tem início no compressor, componente responsável por aumentar a pressão e a temperatura do fluido refrigerante, conduzindo-o em estado gasoso até o condensador, um trocador de calor no qual o fluido libera calor para o ambiente externo e passa para o estado líquido.

Posteriormente, o fluido refrigerante atravessa o dispositivo de expansão, onde sofre uma queda abrupta de pressão e temperatura, entrando parcialmente em estado de vapor. Em seguida, o fluido atinge o evaporador, outro trocador de calor, onde absorve o calor do ambiente refrigerado, promovendo a redução da temperatura local.

2.2.1 Compressor

O compressor é um dos principais componentes dos sistemas de geração de frio, representado no circuito Figura 2, desempenhando papel crucial ao promover a compressão do fluido refrigerante e garantir sua circulação por todo o circuito térmico. Segundo Castro Silva (2013, p. 11), “o compressor promove a circulação do fluido, ou gás refrigerante, por todo o sistema (circuito)”.

Por definição, trata-se de uma máquina utilizada para elevar a pressão de um gás, permitindo sua condensação e posterior aproveitamento térmico. No contexto dos sistemas frigoríficos, essa função é indispensável para possibilitar as trocas de calor necessárias ao processo de refrigeração (Powel; Andrews, 2005).

Figura 2 – Esquema do compressor em sistemas de HVAC-R. 2022



Fonte: adaptado de SMACNA BRASIL, 2022

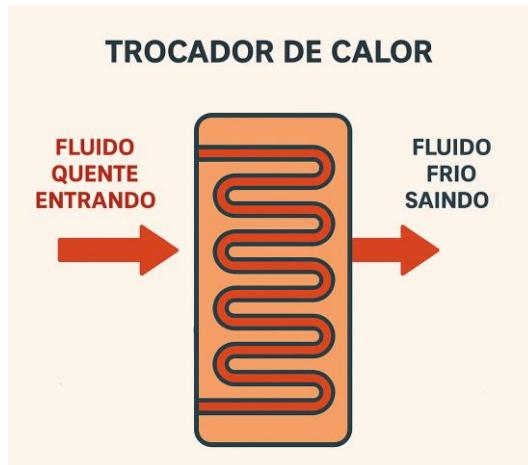
Entre os tipos mais utilizados destacam-se os compressores alternativos, de parafuso, de palhetas e centrífugos. A escolha do modelo adequado depende da aplicação, da capacidade térmica exigida, da eficiência energética, da durabilidade e dos custos operacionais e de manutenção (Stoecker; Jones, 1998; Castro Silva, 2013).

2.2.2 Trocadores de Calor

Nos sistemas de refrigeração, os trocadores de calor, Figura 3, são denominados unidade evaporadora e unidade condensadora, têm como função transferir energia térmica entre o fluido refrigerante e o meio externo, sem que ocorra mistura entre os fluidos. Essa característica garante segurança e eficiência ao processo (Franco, 2008).

Segundo Bergman *et al.* (2016), os trocadores são classificados conforme a geometria do escoamento e o tipo de construção, podendo ser tubulares, de placas ou aletados. Em configurações mais simples, os fluidos circulam em sentidos iguais ou opostos, utilizando tubos concêntricos.

Figura 3 – Trocador de calor



Fonte: Autor, 2025

A transferência de calor ocorre em três etapas principais: entrada do fluido aquecido, troca térmica entre os fluidos e saída com temperaturas modificadas (Kakaç; Liu; Pramuanjaroenkij, 2012).

A seleção do modelo mais adequado de trocador de calor deve levar em conta variáveis como propriedades termodinâmicas do fluido, vazão, área disponível para troca térmica e as condições operacionais do sistema.

2.2.3 Dispositivo de Expansão

O dispositivo de expansão, Figura 4, é um elemento essencial nos sistemas de refrigeração, responsável por regular a entrada do fluido refrigerante no evaporador. Nesse componente, ocorre a redução de pressão que permite a vaporização do fluido, facilitando a absorção de calor (STOECKER; JABARDO, 2002).

Figura 4 – Dispositivo de expansão



Fonte: Hongsen, 2025

Conforme os autores, válvulas de expansão manuais são amplamente utilizadas em sistemas industriais para controle de vazão em evaporadores e, também, associadas a válvulas de bloqueio para regulação de nível (Stoecker; Jabardo, 2002, p. 237).

Entre os modelos mais comuns destacam-se:

- **Orifícios e tubos capilares:** utilizados em sistemas de baixa capacidade, devido ao baixo custo, mas com controle de fluxo limitado.
- **Válvulas de expansão termostáticas:** oferecem maior precisão e são comuns em sistemas de média e alta capacidade.
- **Válvulas eletrônicas de expansão:** proporcionam controle avançado e são integradas a sistemas digitais, melhorando a eficiência energética (Stoecker; Jabardo, 2002, p. 13).

O dimensionamento correto e manutenção periódica são fundamentais para assegurar o desempenho do sistema e sua vida útil.

2.2.4 Fluidos Refrigerantes

Os fluidos refrigerantes são substâncias essenciais nos sistemas de geradores de frio, responsáveis por absorver o calor de um meio e transferi-lo para outro, promovendo assim a refrigeração. Diversos tipos de refrigerantes foram utilizados ao longo do tempo, como os clorofluorocarbonos (CFCs), hidroclorofluorocarbonos (HCFCs), hidrofluorocarbonos (HFCs) e hidrofluoroolefinas (HFOs).

Um fluido refrigerante é qualquer substância capaz de absorver calor de um ambiente e liberá-lo em outro ponto do sistema. Contudo, não existe um fluido refrigerante que reúna todas as características ideais. Por isso, a escolha deve considerar as exigências de cada aplicação, como pressão, temperatura de operação, impacto ambiental, estabilidade química e segurança operacional (IFET, 2009).

Stoecker e Jabardo (2002) definem o fluido refrigerante como o composto químico – puro ou em mistura – que atua como fluido de trabalho nos ciclos de refrigeração.

Essas propriedades são fundamentais para garantir a eficiência, segurança e sustentabilidade dos sistemas de refrigeração. A seguir, o Quadro 1 apresenta as principais características desejáveis em um fluido refrigerante, considerando aspectos

operacionais e ambientais, conforme adaptado de McGarry, Orono-Zabaleta e Turner (2017).

Quadro 1 — Característica de fluido refrigerante

Características desejáveis	Descrição
Estabilidade Química	O refrigerante deve ser compatível com os materiais de construção do sistema e apresentar estabilidade química.
Temperatura Crítica e Ponto Triplo	As temperaturas críticas e pontos triplos devem estar afastados dos valores comuns de operação.
Amigo do Ambiente	O refrigerante deve ser pouco danoso ao meio ambiente em termos de impactos climáticos e de degradação da camada de ozônio.
Alto Calor Latente de Vaporização	A substância deve apresentar alto calor latente de vaporização para a eficiente transferência de calor.
Baixo Custo	O custo do refrigerante deve ser acessível e competitivo.
Miscibilidade com Lubrificantes	O refrigerante deve ser miscível com lubrificantes comuns para facilitar a lubrificação do compressor.
Não Corrosivo, Não Tóxico e Não Inflamável	O material deve ser seguro para o manuseio e armazenamento e não causar riscos à saúde ou à propriedade.

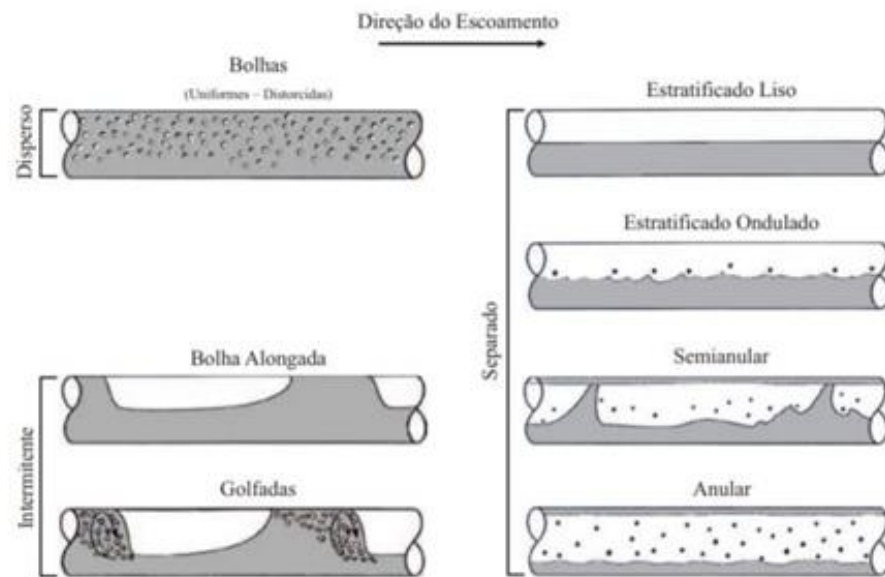
Fonte: Adaptado de McGarry; Orono-Zabaleta; Turner, 2017

Devido às crescentes preocupações ambientais, à evolução tecnológica e às exigências legais internacionais, esses compostos vêm sendo continuamente substituídos por opções mais eficientes e sustentáveis (McGarry; Orono-Zabaleta; Turner; Ge, 2017).

2.2.5 Tubulações de escoamento

As tubulações de escoamento, Figura 5, fazem parte de um sistema composto por diversos elementos, como válvulas de controle, filtros, dispositivos de expansão, trocadores de calor e evaporadores. Esses componentes exercem funções fundamentais na condução eficiente do fluido refrigerante dentro do sistema de refrigeração. Conforme Trott e Welch (2006), tais elementos são essenciais para garantir o desempenho ideal da instalação, uma vez que regulam a pressão, o fluxo e a qualidade do fluido refrigerante — fatores que influenciam diretamente o funcionamento do sistema como um todo.

Figura 5 – Representação dos padrões de tubulação de escoamento



Fonte: Paula; Silva 2020

Para assegurar uma operação eficiente e segura, as tubulações precisam ser projetadas de acordo com os parâmetros de escala, o tipo de fluido utilizado e as condições operacionais específicas. Segundo McQuiston e Parker (2005), a escolha dos materiais das tubulações deve ser criteriosa, considerando as particularidades de cada instalação. Ainda de acordo com os autores, a durabilidade e a resistência à corrosão são requisitos fundamentais para evitar falhas e perdas de eficiência no sistema.

2.3 SENSOR DE TEMPERATURA E TRANSDUTOR DE PRESSÃO

2.3.1 Sensor de temperatura PT100

Os sensores de temperatura são dispositivos fundamentais nos sistemas de automação e controle, utilizados para medir variações térmicas e convertê-las em sinais elétricos interpretáveis por sistemas computacionais. Os termopares, termistores e sensores de resistência (RTDs) estão entre os dispositivos de medição de temperatura mais utilizados, sendo amplamente aplicados em processos industriais, sistemas de refrigeração.

Segundo Costa e Mendes (2020), os sensores de temperatura são indispensáveis para o controle preciso de processos térmicos, permitindo o ajuste

automático de equipamentos com base nas medições fornecidas. O Pt100 é um tipo de RTD (*Resistance Temperature Detector*) baseado na variação de resistência de um elemento de platina puro conforme a temperatura muda. A nomenclatura “100” refere-se aos 100 Ω à temperatura de 0 °C, Figura 6.

Figura 6 – Sensor de temperatura do tipo RTD PT100



Fonte: Electron, 2025

A escolha do tipo de sensor depende da faixa de temperatura, da precisão exigida e do ambiente de aplicação.

2.3.2 Transdutor de pressão

Transdutores de pressão são dispositivos que convertem energia física, como pressão, em sinais elétricos. Segundo Thomazini e Albuquerque (2020).

Já os transdutores piezoelétricos operam com base no efeito piezoelétrico, em que determinados cristais (como quartzo ou materiais cerâmicos) geram carga elétrica proporcional à força mecânica aplicada. Conforme descrito por Doebelin e Manik (2011), esses sensores são indicados para medições dinâmicas de pressão, como em aplicações com pulsos ou variações rápidas, devido à sua alta resposta em frequência.

O transdutor de diafragma é um dos mais utilizados na indústria, especialmente em medições de baixa e média pressão. Seu funcionamento baseia-se na deformação de um diafragma metálico ou de material flexível, que transfere a pressão aplicada a um elemento sensor. Segundo Fraden (2010), esse tipo de transdutor apresenta boa estabilidade e linearidade, sendo ideal para sistemas onde a precisão é essencial. Figura 7.

Figura 7 – Transdutor de pressão 4 a 20mA



Fonte: Wika, 2025

Por outro lado, os transdutores capacitivos funcionam pela variação da capacitância entre placas condutoras separadas por um material dielétrico, cuja distância relativa se altera conforme a pressão aplicada. De acordo com Bentley (2005), esse tipo de sensor possui alta sensibilidade e baixo consumo de energia, sendo apropriado para aplicações em ambientes exigentes, como sistemas de refrigeração, HVAC e processos com necessidade de alta resolução.

2.4 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL

O Controlador Lógico Programável (CLP), também conhecido pela sigla em inglês PLC (*Programmable Logic Controller*), é um dispositivo eletrônico de estado sólido utilizado na automação industrial para monitorar, controlar e gerenciar processos de forma eficiente e segura. Ele permite a comunicação entre os sensores e atuadores da planta industrial com a estação central de supervisão, executando lógicas de controle, cálculos e tomada de decisões em tempo real (Silva, 2016).

Segundo Silva (2016), o CLP é capaz de armazenar instruções para controlar processos, realizar operações lógicas, aritméticas, temporizações, contagens e comunicação em rede. Ele ocupa o segundo nível da pirâmide da automação industrial, sendo responsável por automatizar operações de campo em sistemas complexos, como os geradores de frio industriais.

De acordo com Franchi e Camargo (2021), o CLP possui vantagens importantes em relação a outros microcontroladores, como a facilidade de reprogramação, a possibilidade de reutilização de lógicas desenvolvidas, maior confiabilidade operacional e maior flexibilidade para adaptações em processos distintos.

Nos sistemas de refrigeração industrial, os CLPs têm papel essencial na aquisição de dados de sensores de temperatura, pressão e vazão, bem como no controle da atuação de compressores, válvulas de expansão e trocadores de calor (Shi *et al.*, 2020).

Assim, a integração dos CLPs com tecnologias emergentes como a Internet das Coisas (IoT) tem possibilitado a criação de sistemas ciberfísicos mais inteligentes, eficientes e seguros. Conforme Costa *et al.* (2021), essa integração permite o monitoramento em tempo real, manutenção preditiva e a redução de custos operacionais e energéticos (Costa *et al.*, 2021). A Figura 8 demonstra um modelo de CLP disponível para comercialização.

Figura 8 – Controlador lógico programável



Fonte: Siemens, 2025

Dessa forma, os CLPs continuam sendo uma tecnologia indispensável no setor de automação, contribuindo significativamente para o desempenho e a confiabilidade de sistemas frigoríficos e industriais em geral (Meng *et al.*, 2019).

2.5 INTERFACE HOMEM-MÁQUINA

A Interface Homem-Máquina (IHM), ou *Human-Machine Interface* (HMI), é um dispositivo ou software que permite a interação entre o operador e o sistema automatizado. Essa interface é responsável por apresentar informações em tempo real sobre os processos industriais, possibilitando o controle, a configuração e o acompanhamento do funcionamento dos equipamentos (Wollmann, 2018). A Figura 9 demonstra um modelo de IHM disponível para comercialização.

Figura 9 – Interface Homem-Máquina



Fonte: Siemens, 2025

As IHMs modernas oferecem gráficos, animações, históricos de eventos e integrações com sistemas supervisórios, proporcionando uma interface amigável e intuitiva. Com isso, operadores podem tomar decisões rápidas e precisas, o que é fundamental para o controle térmico adequado em processos industriais e para evitar falhas que comprometem a cadeia de refrigeração (Wollmann, 2018).

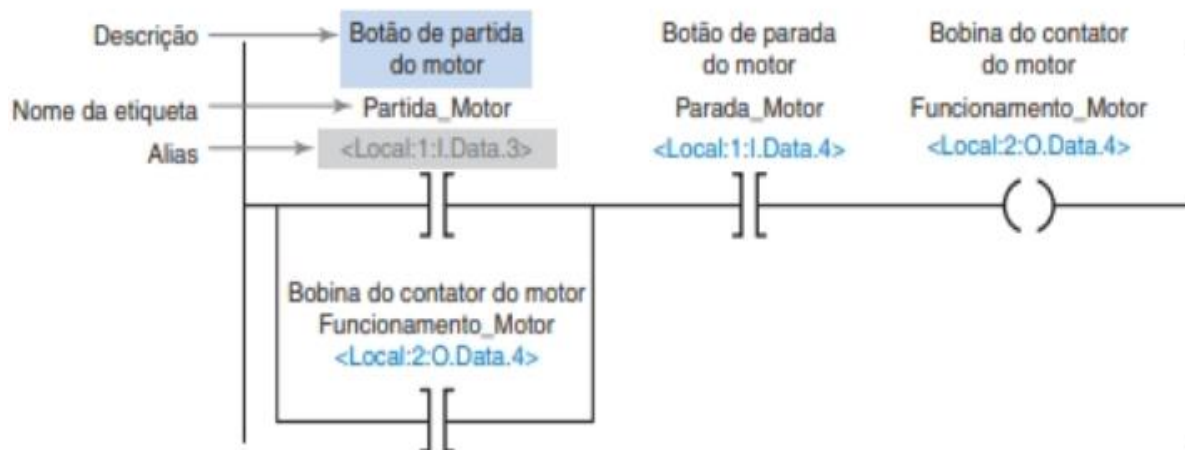
2.6 PROGRAMAÇÃO LADDER

Programação é o processo de projetar e construir um programa de computador executável com o objetivo de realizar uma tarefa específica ou solucionar um problema (Prata, 2014). Segundo Franchi e Camargo (2020, pag.33), “Linguagem de programação é um conjunto padronizado de instruções que o sistema computacional é capaz de reconhecer”. De acordo com os autores, o ato de programar significa fornecer uma sequência de instruções a um sistema computacional, executando

automaticamente as decisões de controle com base no estado atual e das entradas e saídas em um momento específico.

Existem diversas linguagens de programação, cada uma com suas próprias sintaxes e finalidades. Entre as mais populares estão *Python*, *Ladder*, *Java*, *C++* e *JavaScript*. A escolha da linguagem ideal depende do propósito do projeto e do ambiente em que será implementado (Deitel; Deitel, 2017). No contexto da automação industrial, destaca-se a linguagem *Ladder* (ou linguagem de diagrama de contatos), que é amplamente utilizada na programação de CLPs. Sua estrutura se assemelha a diagramas elétricos, facilitando a leitura por técnicos e engenheiros com formação em eletrotécnica. A linguagem *Ladder* (LD) é um método de programação com uma representação gráfica de um processo em degraus lógicos (Petruszella, 2014). A Figura 10 exemplifica algumas instruções de uma linguagem de programação *LD* em uma determinada situação ou caso.

Figura 10 – Exemplo de instruções em linguagem *Ladder*



Fonte: Petruzella, 2014

De acordo com Alves (2010), na linguagem *LD* existem as instruções lógicas, chamadas de endereços de memórias, responsáveis pela execução de determinadas funções de acordo com as áreas específicas.

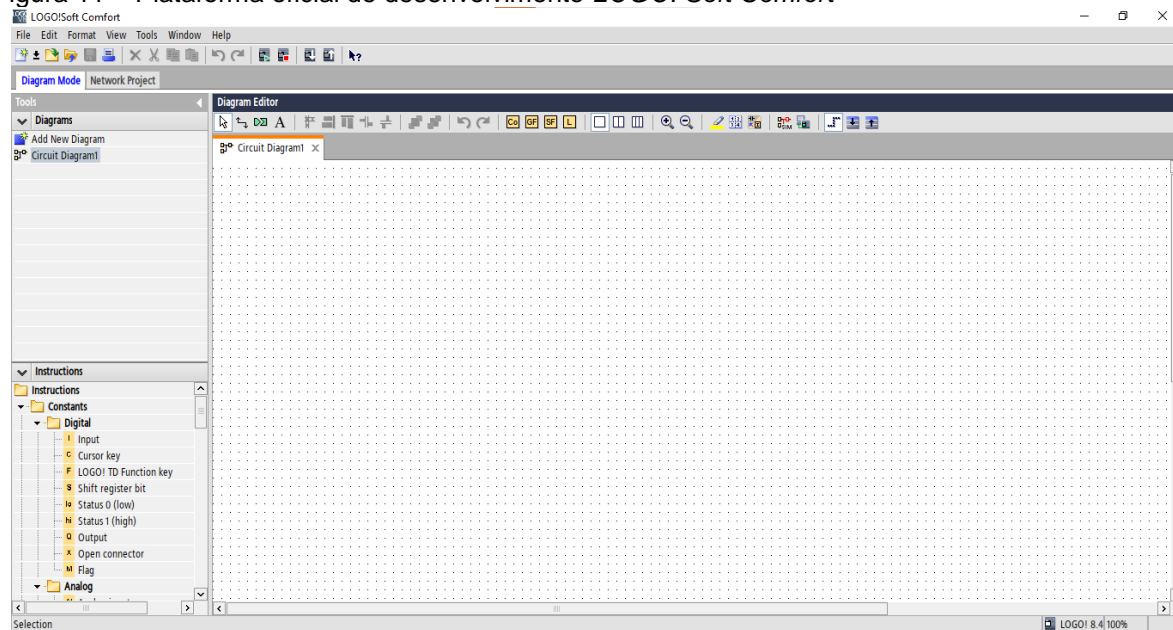
Essa linguagem permite representar sequências lógicas de controle, temporizações, contagens e intertravamentos de maneira gráfica e intuitiva, sendo ideal para sistemas de controle industrial (Wollmann, 2018).

2.7 INTEGRATED DEVELOPMENT ENVIRONMENT (IDE) PARA PROGRAMAÇÃO DO CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL (CLP) SIEMENS LOGO! 24RTD

A utilização de Controladores Lógicos Programáveis (CLPs) em processos industriais exige ferramentas de desenvolvimento apropriadas, que possibilitem a criação, simulação e diagnóstico de programas de controle. Para os CLPs da família *LOGO!* da Siemens, a plataforma oficial de desenvolvimento é o *LOGO! Soft Comfort*, uma IDE (*Integrated Development Environment*) projetada para simplificar o processo de programação, especialmente para aplicações de pequeno e médio porte.

A versão *LOGO! 8.3* introduziu novos recursos importantes, como acesso via nuvem (*LOGO! Web Editor* e *LOGO! Access Tool*), melhorias de conectividade com sistemas de automação e maior capacidade de memória para blocos de função. Segundo a Siemens (2021), a IDE oferece uma interface gráfica intuitiva baseada em blocos lógicos, que facilita o desenvolvimento mesmo para usuários com pouca experiência em programação tradicional. Figura 11.

Figura 11 – Plataforma oficial de desenvolvimento *LOGO! Soft Comfort*



Fonte: Siemens, 2025

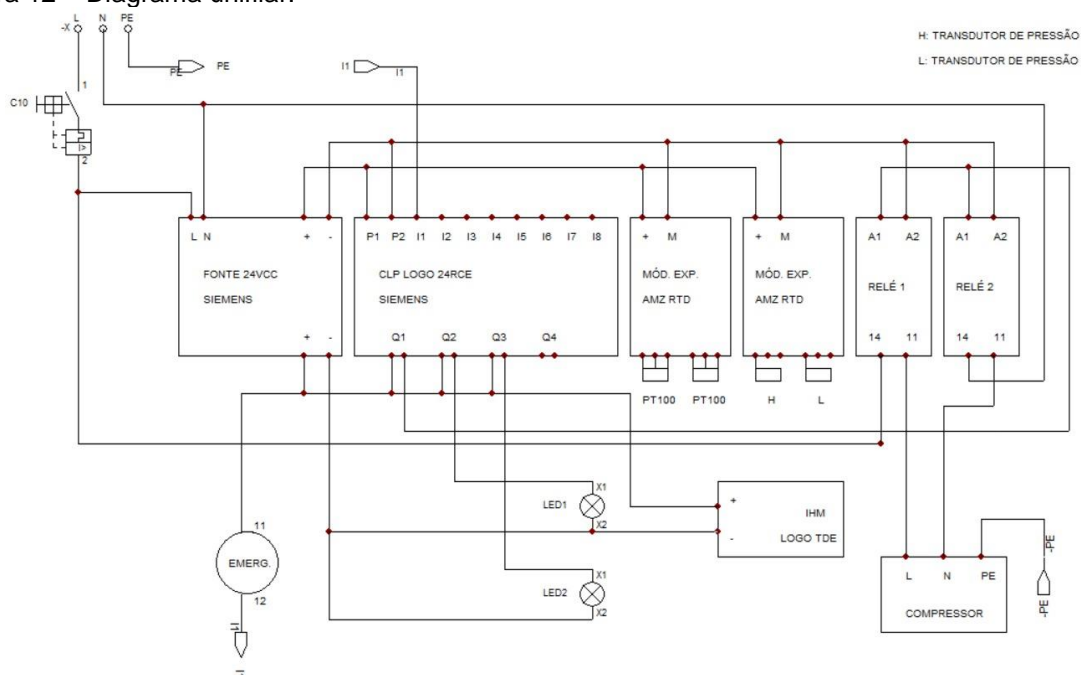
A flexibilidade e facilidade de uso do *LOGO! Soft Comfort* tornam-no especialmente eficaz em ambientes educacionais, laboratórios de automação, bem como em aplicações comerciais de automação predial, controle de bombas, ventilação e iluminação industrial (Lima & Barbosa, 2020).

2.8 CIRCUITO ELÉTRICO

Circuito elétrico é um caminho fechado por onde circula a corrente elétrica, composto por elementos como resistores, capacitores, indutores, geradores e condutores (Sedra; Smith, 2019). Eles constituem a base da eletrônica e da engenharia elétrica, permitindo a criação e controle de sinais elétricos utilizados em uma vasta gama de aplicações, desde equipamentos simples até sistemas computacionais complexos (Horowitz; Hill, 2015).

De acordo com Floyd (2017), os circuitos elétricos podem ser representados por diagramas unifilares e classificados, de forma geral, como série, paralelo ou misto. Nos circuitos em série, o diagrama evidencia que os componentes estão conectados em um único trajeto para a corrente elétrica, enquanto nos circuitos paralelos o fluxo de corrente pode percorrer múltiplos caminhos simultâneos. A representação unifilar, portanto, facilita a compreensão da topologia do circuito e da distribuição das correntes e tensões entre os elementos, demonstrado na Figura 12.

Figura 12 – Diagrama unifilar.



Fonte: CadeSIMU, 2025

A correta integração dos elementos em um circuito elétrico é determinante para seu desempenho, eficiência e segurança, sendo cada componente essencial na construção e funcionamento do sistema como um todo (Toda Matéria, 2018).

3 METODOLOGIA

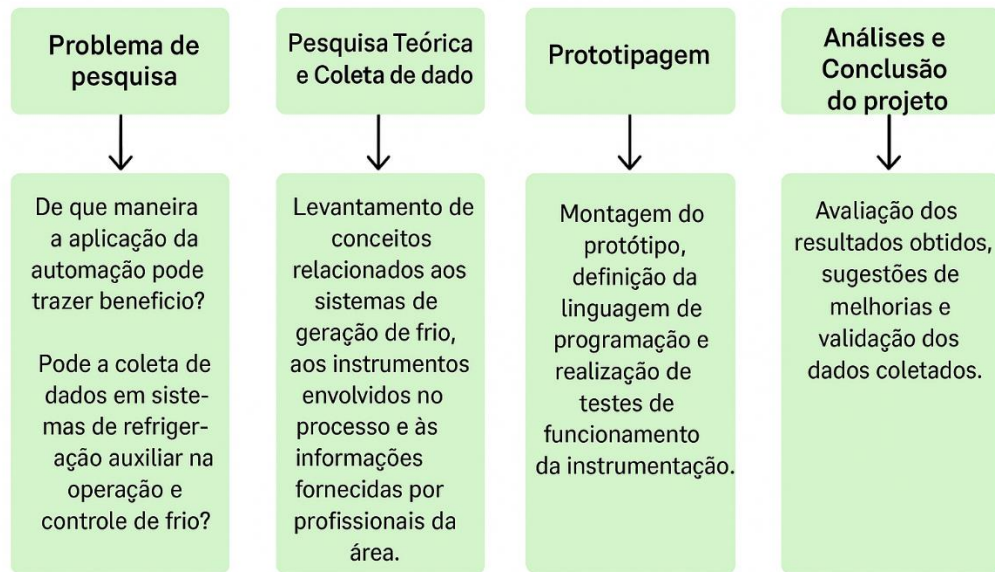
3.1 PLANEJAMENTO DO PROJETO

O presente estudo foi desenvolvido com base na observação de processos de geração de frio em uma empresa localizada no município de Santa Rosa, estado do Rio Grande do Sul, durante o primeiro semestre de 2025. Com o intuito de estruturar a pesquisa de forma clara e objetiva, foram definidos procedimentos e técnicas metodológicas voltadas ao desenvolvimento de um protótipo funcional para leitura e controle de variáveis em um sistema frigorífico. Esse protótipo foi concebido com base na programação de um Controlador Lógico Programável (CLP), integrado a sensores de temperatura e pressão, com visualização em tempo real por meio de uma Interface Homem-Máquina (IHM).

A fundamentação teórica deste trabalho foi construída com base em obras especializadas, artigos científicos e fontes digitais relevantes, proporcionando embasamento conceitual sólido e suporte técnico às análises e interpretações dos resultados. A metodologia adotada caracteriza-se por uma abordagem quantitativa, com perfil exploratório-descritivo. A vertente exploratória tem por objetivo investigar possibilidades inovadoras de aplicação de tecnologias voltadas à coleta de dados em sistemas frigoríficos, enquanto o aspecto descritivo busca organizar e sistematizar os processos envolvidos na automação e controle dessas operações.

A Figura 13 apresenta o planejamento por etapas da pesquisa.

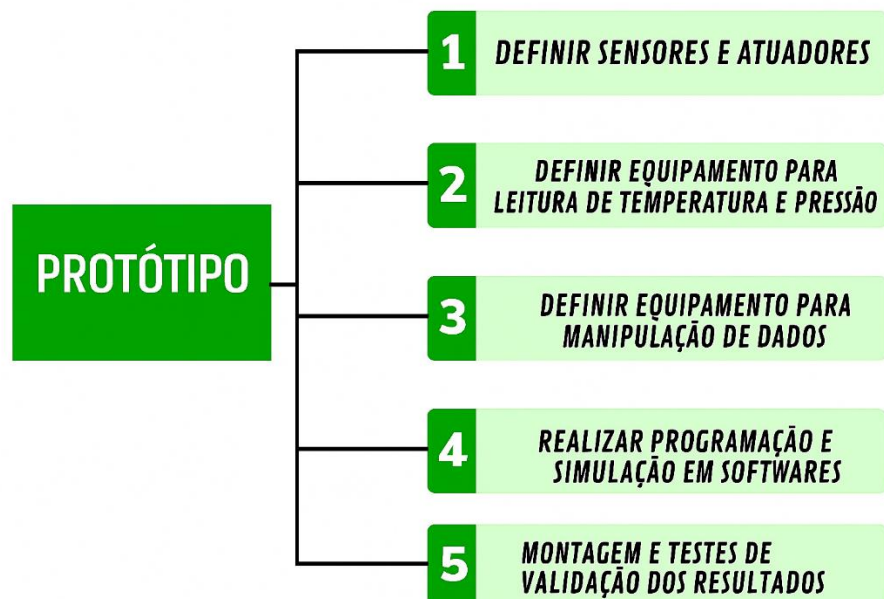
Figura 13 — Desenvolvimento do projeto de pesquisa



Fonte: Autor, 2025

Como parte da pesquisa de campo, foram realizadas visitas técnicas à instalação objeto de estudo, além de entrevistas informais com operadores e análise detalhada da infraestrutura e do funcionamento atual do sistema. A partir dessas observações, foi possível elaborar um fluxograma representativo das etapas para o desenvolvimento do protótipo, demonstrado na Figura 14.

Figura 14 – Etapas para o desenvolvimento do protótipo



Fonte: Autor, 2025

A seção destinada à análise e discussão dos resultados apresentará e interpretará os dados que serão obtidos ao longo da execução do projeto, permitindo estabelecer correlações entre os conceitos desenvolvidos na fundamentação teórica e sua aplicação prática por meio da prototipagem.

Essa abordagem possibilitará avaliar o desempenho do sistema automatizado, identificar possíveis inconsistências e validar a efetividade das soluções implementadas em relação aos objetivos propostos.

3.2 RECURSOS NECESSÁRIOS

A elaboração de um protótipo exige a transformação de uma ideia inicial em um modelo funcional, capaz de simular condições reais de operação. Para tanto, é fundamental estabelecer os objetivos do protótipo, identificar os requisitos técnicos e selecionar os materiais e ferramentas digitais necessários para sua construção.

Os Quadros 2 e 3 apresentam os recursos de *Software* e *Hardware* empregados no projeto.

Quadro 2 — Recursos necessários, *Softwares*

Tipo de recurso		Aplicação
Software de edição Word		Windows 10
Software de programação LOGO!Soft Confort		Windows 10

Fonte: Autor, 2025

Quadro 3 — Recursos Necessários, *Hardware*

Tipo de recurso	Quantidade	Unidade de medida
Disjuntor termomagnético monopolar <i>Siemens</i> SSL 11 MCB C10 ~230/400V	1	Peça
Fonte de alimentação <i>Siemens</i> LOGO POWER output DC 24V/1,3A 6EP1331-1SH02	1	Peça
Relé acoplador <i>Phoenix Contact</i> DC 24V	2	Peça
IHM <i>Siemens</i> LOGO!TDE 1P6ED1055-4MH08-0BA1 / Supply: 12/24V DC, 50/60 HZ, 150mA	1	Peça
Sinalizador de cor vermelha <i>Schenaidner Electric</i> - XVL - A33, 24VDC	2	Peça

Tipo de recurso	Quantidade	Unidade de medida
Botoeira de emergência <i>Shmersal</i> 300V 10A	1	Peça
CLP <i>Siemens LOGO!</i> 24RCE 6ED1052 - 1HB08 - 0BA1	1	Peça
Bloco de Expansão <i>Siemens</i> AM2 RTD 6ED1055 - 1MD00 - 0BO2	1	Peça
Bloco de Expansão <i>Siemens</i> AM2 AQ 6ED1055 - 1MA00 - 0BA02	1	Peça
Sensor <i>WIKA</i> TR40 1XPt100/B/3(F) -50...+200°C	2	Peça
Transdutor de pressão M1 P13111299 S11DC595G - 4...20mA / -1...10kgf/cm ² / 3V	2	Peça
Condutor simples 1 mm cor Branca	2	Metro
Condutor simples 1 mm cor Preto	2	Metro
Condutor simples 1 mm cor Vermelho	2	Metro
Condutor simples 1 mm cor Azul	2	Metro
Condutor PP 2x1mm cor Azul/Marrom	1	Metro
Caixa para Painel de Sobrepor 250x200x130mm <i>Rohdina</i>	1	Peça
Cabo ETHERNET	2	Peça
Sucata de um bebedouro de água	1	Peça

Fonte: Autor, 2025

A escolha criteriosa dos materiais utilizados no projeto foi essencial para assegurar não apenas a operacionalidade e confiabilidade do protótipo desenvolvido, mas também a precisão na representação dos parâmetros e comportamentos típicos dos sistemas reais de refrigeração automatizados.

Essa seleção considerou requisitos técnicos específicos, compatibilidade entre os componentes, bem como a capacidade de simular condições de funcionamento com elevada fidedignidade, garantindo a efetividade dos testes e a validade dos resultados obtidos.

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

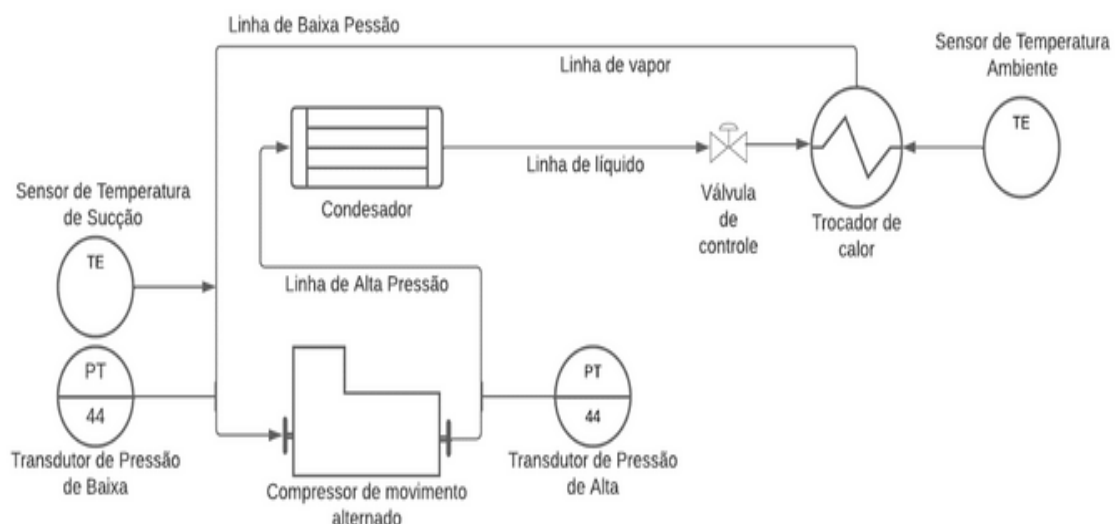
4.1 CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA DE GERADORES DE FRIO

Esta seção apresenta a coleta de dados e o mapeamento do processo dos geradores de frio, destacando os principais elementos do sistema e os instrumentos envolvidos.

Os geradores de frio, utilizados em aplicações industriais e comerciais, têm como principal função extrair calor de um meio específico, garantindo a conservação de nutrientes e o aumento da vida útil dos produtos. O funcionamento é baseado em ciclos termodinâmicos, principalmente no Ciclo de Compressão de Vapor, que é o mais comum devido à sua eficiência.

Com isso, foi feito o mapeamento do funcionamento do sistema, identificando as variáveis principais, como temperatura e pressão. A partir de uma pesquisa de campo e entrevistas com operadores e o responsável técnico, foi possível traçar o fluxograma, apresentado na Figura 15, também, identificar os componentes básicos utilizados e a definição dos pontos de medição de temperatura e pressão mais relevantes.

Figura 15 — Fluxograma do Protótipo de Gerador de Frio



Fonte: Autor, 2025

4.2 PROTOTIPAGEM

Com base nas características do gerador de frio, foi desenvolvido um protótipo para simular o funcionamento automatizado dos geradores de frio, incluindo o posicionamento dos pontos estratégicos de medição das variáveis de temperatura e pressão, essenciais para o controle e supervisão do processo.

4.2.1 Desenvolvimento do protótipo

O desenvolvimento do protótipo teve início com a reutilização da carcaça de um bebedouro de água fora de uso, a qual foi adaptada e modificada estruturalmente para atender aos requisitos da aplicação proposta. A estrutura passou por um processo de modulação, permitindo a integração dos componentes de automação, sensores e elementos do sistema de refrigeração de forma funcional e segura, demonstrada na Figura 16.

Figura 16 — Protótipo de Gerador de Frio



Fonte: Autor, 2025

Foram realizados ajustes estruturais no protótipo com o objetivo de posicionar os componentes de forma visível e organizada, favorecendo a visualização didática do sistema. Após essa etapa, foi construída uma estrutura metálica em aço, com pintura na cor inox brilhante, visando à proteção contra corrosão e à durabilidade.

Esse suporte foi projetado para acomodar tanto o gerador de frio quanto o painel elétrico de controle. Figura 17.

Figura 17 — Estrutura metálica



Fonte: Autor, 2025

Com a estrutura definida e o fluxograma do sistema elaborado, foi iniciada a etapa de posicionamento dos sensores de temperatura e dos transdutores de pressão. Os sensores de temperatura tipo PT100 foram instalados em dois pontos estratégicos: na tubulação de retorno ao compressor e na serpentina do evaporador, simulando a medição da temperatura ambiente de forma representativa.

Para a instalação dos transdutores de pressão, foi necessário criar pontos de acesso na tubulação. Utilizou-se uma broca de 3 mm para realizar a perfuração na linha de descarga do compressor (linha de alta pressão). Em seguida, foi soldada com eletrodo de prata, uma extensão de tubo de cobre 1/4" de diâmetro e 10 cm de comprimento, também foi soldada com eletrodo de prata na extremidade um adaptador de material bronze com rosca interna 5/16" permitindo o encaixe rosqueado do transdutor na posição superior.

Para o transdutor de baixa pressão, instalado na linha de retorno ao compressor (linha de baixa), foi utilizada uma válvula de duas vias em bronze, com diâmetro de 1/4". Na extremidade da válvula, também foi soldado um adaptador de bronze com rosca interna 5/16", permitindo o encaixe rosqueado do transdutor conforme ilustrado na Figura 18.

Figura 18 — Posição dos Transdutores de pressão



Fonte: Autor, 2025

A configuração adotada possibilitou a instalação segura das sondas de medição, assegurando a obtenção precisa das leituras de pressão nas linhas de alta e baixa.

4.2.2 Desenvolvimento do circuito elétrico

Nesta etapa, será apresentada de forma detalhada a arquitetura elétrica do painel e de controle do sistema automatizado para realizar o gerenciamento do circuito de refrigeração. Na Figura 19 demonstra a representação da arquitetura do painel elétrico.

Figura 19 — Arquitetura do painel elétrico



Fonte: Autor, 2025

De maneira sequência, foi instalado um disjuntor termomagnético bipolar tipo C10 com a finalidade de proteger a instalação elétrica contra sobrecorrentes e curtos-circuitos oriundos da alimentação principal, que é fornecida por uma rede monofásica de 220V em corrente alternada (AC). Esse disjuntor atua como proteção inicial para os demais dispositivos do circuito.

A alimentação proveniente da rede é conduzida até uma fonte de alimentação *SIEMENS*, cuja função é converter a tensão de 220V AC em 24V corrente contínua (DC). Essa fonte de 24VDC é utilizada para alimentar os dispositivos de controle do sistema, como o CLP, os módulos de expansão e os circuitos auxiliares.

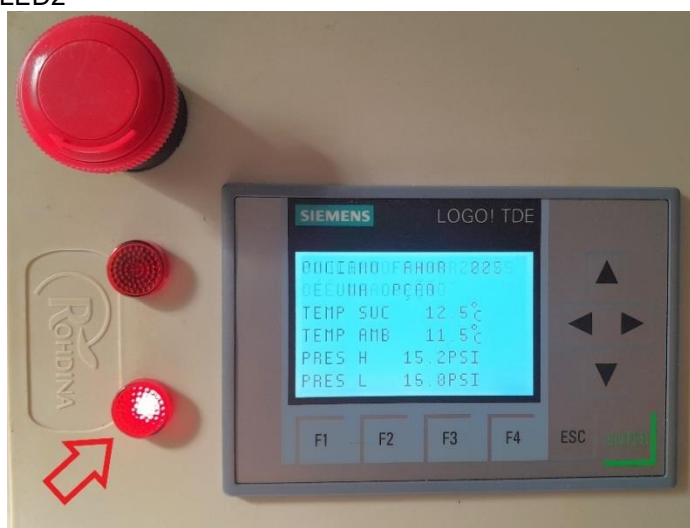
O sistema de controle é centralizado em um Controlador Lógico Programável *Siemens LOGO! 24RCE*, responsável por realizar o processamento lógico de todas as variáveis do sistema, alimentado pela fonte 24VDC, possui entradas 8 entradas digitais (I1 a I8), que são utilizadas para receber sinais provenientes de sensores, botoeiras ou contatos de segurança. As saídas digitais (Q1 a Q4) são utilizadas para acionar os dispositivos, relés de potência, compressor os LEDs de sinalização visual.

Para realizar a conversão dos sinais analógicos dos sensores de temperatura e transdutor de pressão, foram adicionados um módulo de expansão AM2 RTD e um módulo de expansão AM2 AQ, conectados diretamente ao CLP. O módulo AM2 RTD têm a função de converter o sinal analógico dos sensores do tipo PT100 em sinais digitais e enviando para o CLP validar as leituras e apresentar na IHM. Já o módulo AM2 AQ tem a função de converter os sinais analógicos, provenientes dos transdutores de pressão com saída em corrente de 4 a 20 mA, em sinais digitais enviando para o CLP compilar as leituras e apresentar na IHM.

A atuação das cargas de potência, como o compressor de refrigeração, é realizada por meio de dois relés externos denominados Relé 1 e Relé 2. Esses relés são comandados pelas saídas digitais Q1 e P2 do CLP. O Relé 1 tem a função de chavear a alimentação L (tensão positivo 220V AC) da carga principal (compressor), enquanto o Relé 2 tem a função de chavear a alimentação N (tensão negativo 220V AC) carga principal (compressor).

Com a finalidade de fornecer indicação visual do estado operacional do sistema, foram instalados dois LEDs sinalizadores (LED1 e LED2). Esses LEDs são acionados pelas saídas digitais Q2 e Q3 do CLP, LED1 representa condição “Habilita Sistema”, (painel energizado), o LED2 representa condição “Controle por Temperatura” ou “Controle por Pressão” (sistema ligado). Figura 20.

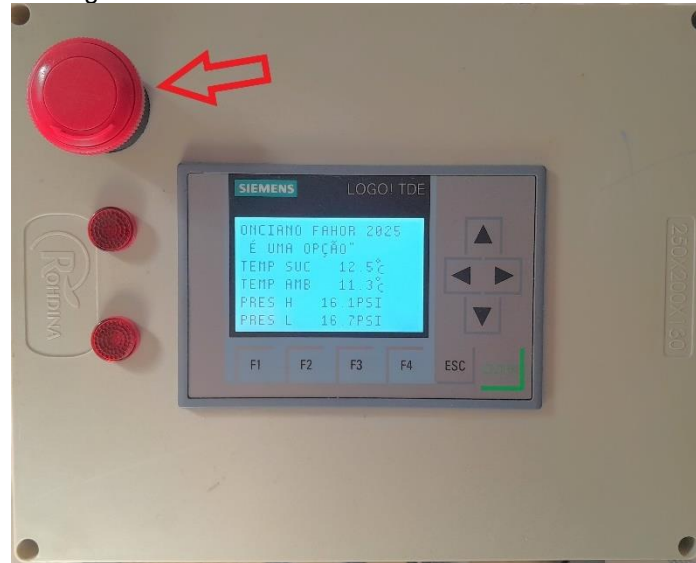
Figura 20 — LED1 e LED2



Fonte: Autor, 2025

Para garantir a segurança dos operadores e preservar os componentes, foi incluído um botão de emergência (EMERG.), ligado em série com a alimentação do circuito de controle. Sua função é interromper imediatamente o funcionamento do sistema ao ser acionado, desenergizando o CLP e parando o processo de forma segura. Figura 21.

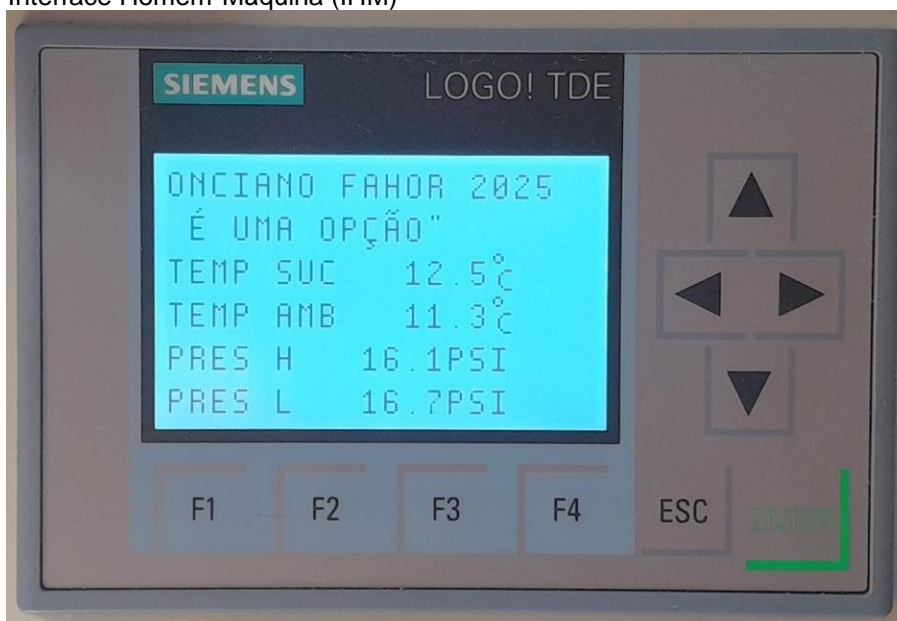
Figura 21 — Botão de emergência



Fonte: Autor, 2025

O sistema conta ainda com uma interface homem-máquina do tipo *LOGO! TDE*, conectada diretamente ao CLP. Essa IHM tem a função de exibir em tempo real as variáveis monitoradas pelo sistema, “TEMP SUC”, “TEMP AMB”, “PRES H”, “PRES L”, promovendo interação entre o operador e equipamento. Figura 22.

Figura 22 — Interface Homem-Máquina (IHM)



Fonte: Autor, 2025

A carga final do sistema é um compressor de refrigeração, que é alimentado diretamente pela rede 220VAC através da comutação do Relé 1 e Relé 2. O controle de seu funcionamento é totalmente automatizado, sendo acionado ou desligado com base nas leituras de pressão ou temperatura.

Com o objetivo de monitorar os níveis de pressão do sistema de refrigeração, foi instalado dois transdutores de pressão, denominados H (*High*) e L (*Low*). O transdutor H está posicionado na linha de descarga do compressor para medir a alta pressão, enquanto o transdutor L está localizado na linha de sucção para medir a baixa pressão. Os sinais desses transdutores são enviados ao módulo de expansão AM2 AQ, que por sua vez converte os sinais e envia para o CLP.

A lógica funcional do sistema consiste em avaliar continuamente as variáveis de processo medidas pelos sensores. Caso a pressão de descarga esteja acima de um limite programado ou a temperatura esteja acima de um determinado ponto de *setpoint*, o CLP aciona a saída Q1 enviando tensão ao Relé 1 e 2, iniciando o funcionamento do compressor. O desligamento do compressor ocorre quando o *setpoint* é atingido (temperatura desejada) ou a uma condição crítica, sobrepressão (pressão de alta acima da máxima permitida), garantindo a integridade do sistema. O estado de operação é apresentado em tempo real pela IHM.

Todo o sistema foi projetado com foco na segurança e na confiabilidade operacional, incluindo proteção elétrica, lógica de desligamento emergencial, separação entre os circuitos de potência e de comando, além de garantir uma interação segura e eficiente entre o operador e do ciclo de refrigeração.

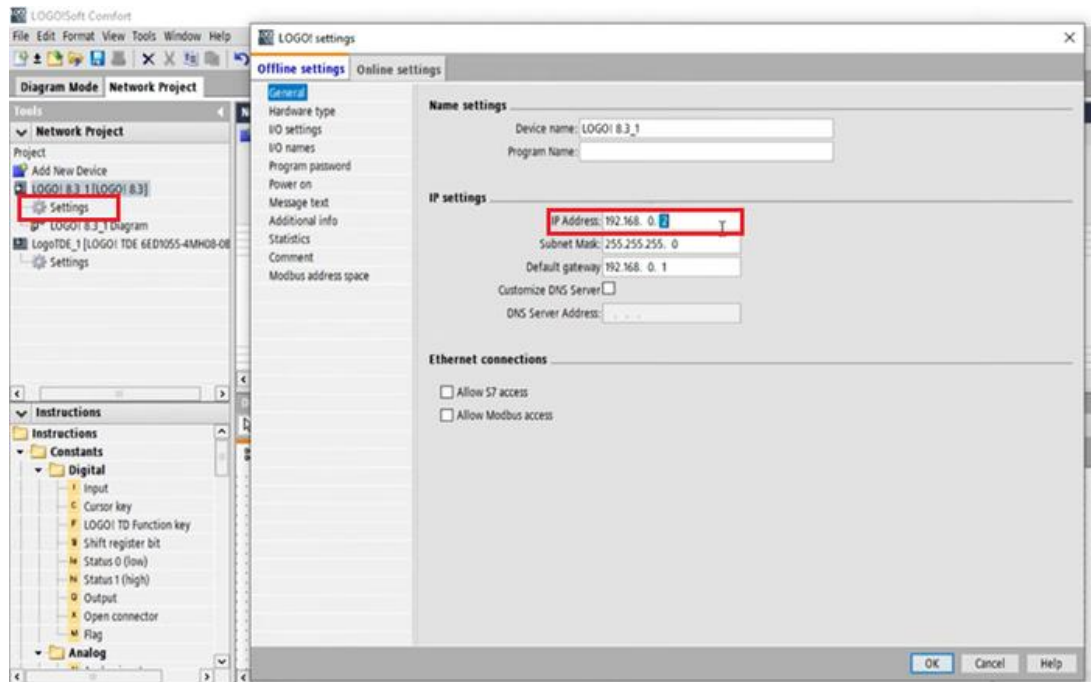
4.2.3 Programação da CLP Siemens LOGO! 24RCE

Neste ponto do trabalho, é apresentado o desenvolvimento da lógica de controle automático do sistema de refrigeração, utilizando variáveis analógicas de pressão e temperatura obtidas por sensores industriais.

A programação foi realizada no ambiente *LOGO! Soft Comfort*, por meio da linguagem *Ladder* (LD), com o uso de blocos de memória, temporizadores, comparadores analógicos e saídas digitais. O sistema permite o acionamento seguro e automático dos equipamentos, além de realizar sinalizações visuais e alarmes com base nas condições de operação.

Para iniciar a programação, é necessário adicionar os novos dispositivos no ambiente “*Network Project*” e configurar seus respectivos endereços IP. Neste caso, devem ser inseridos o Controlador Lógico Programável (CLP) e a Interface Homem-Máquina (IHM), atribuindo a cada, um endereço válido no campo “*IP Address*”, garantindo a correta comunicação entre eles e o software de desenvolvimento. Figura 23.

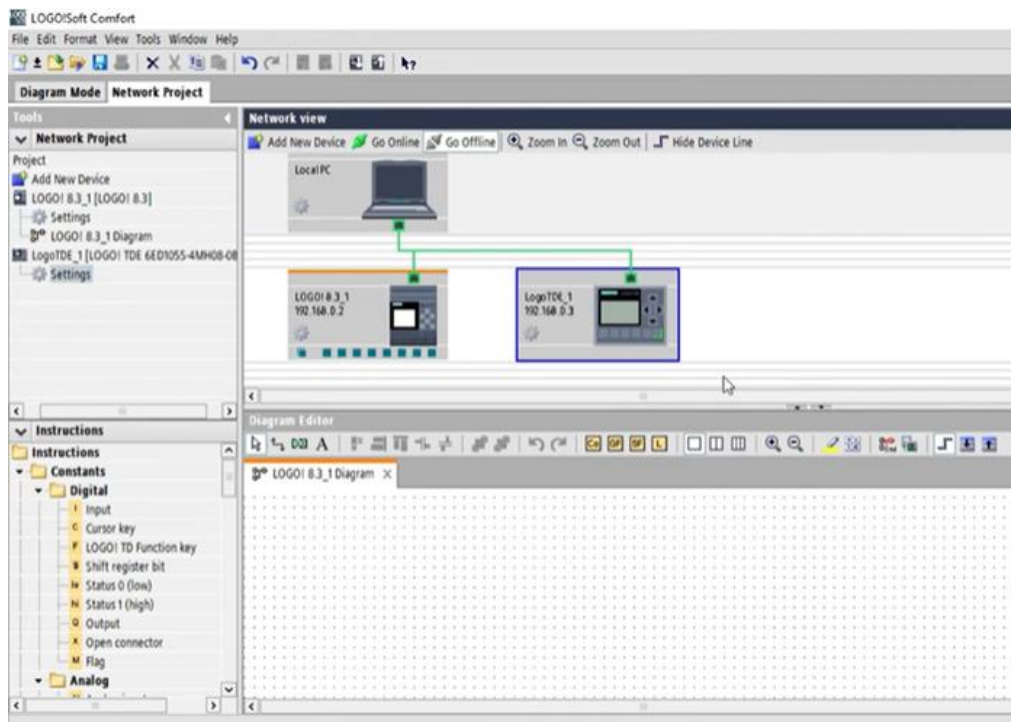
Figura 23 – Network Project no LOGO! Soft Comfort



Fonte: LOGO! Soft Comfort, 2025

Após a configuração dos dispositivos e a verificação de comunicação entre os módulos, Figura 24, a lógica de controle é iniciada.

Figura 24 – Network Project no LOGO! Soft Comfort



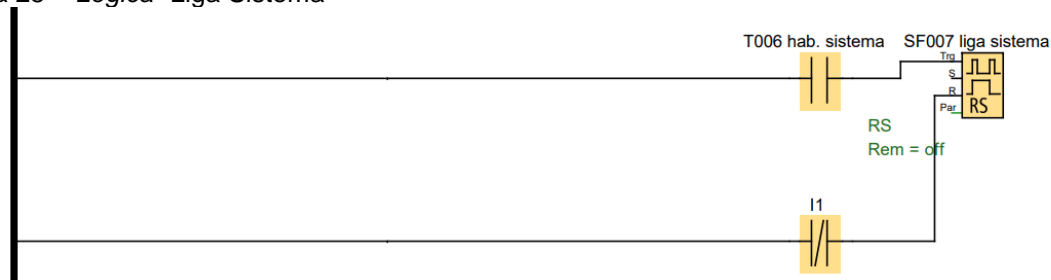
Fonte: LOGO! Soft Comfort, 2025

4.2.3.1 Função “Liga Sistema”

Após a configuração dos dispositivos e a verificação de comunicação entre os módulos, a lógica de controle é iniciada com a utilização da entrada digital I1, associada a um botão de "Liga Sistema", botoeira de emergência, Figura 25. Ao ser pressionado, esse botão envia um pulso que ativa o bloco de memória Set/Reset (SF007), o qual mantém o sistema em estado Energizado. Essa memória torna-se, então, uma condição essencial para o funcionamento de todos os blocos lógicos, podendo interromper o processo caso seja novamente acionada, bloqueando qualquer ação do operador.

A variável "liga sistema" (SF007) ou somente (SF) que significa "Set Flag" ou em português "Ativar Sinalizador" é utilizada como uma condição de habilitação lógica da linguagem *Ladder*. Isso garante que, sem a ativação declarada do sistema, nenhuma saída de controle será acionada, mesmo que outras variáveis estejam dentro da faixa operacional. Essa é uma forma de intertravamento lógico.

Figura 25 – Lógica “Liga Sistema”

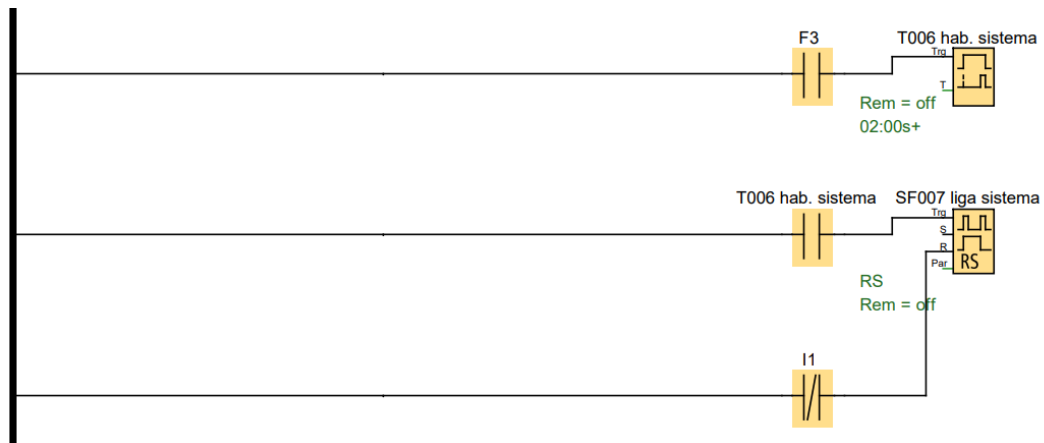


Fonte: LOGO! *Soft Comfort*, 2025

4.2.3.2 Função “Habilita Sistema”

Na sequência da programação, o bloco T006 é um temporizador do tipo TON (retardo na energização). Sua função é condicionar o comando “Habilita sistema” com um atraso de 2 segundos. Ao pressionar a tecla F3 na IHM LOGO! TDE por esse tempo, o sistema é habilitado para operar nas condições de “Controle por Temperatura” ou “Controle por Pressão”. A função do temporizador é proteger e evitar propositalmente o acionamento do sistema, evitando que um clique acidental no botão de acionamento interrompa a operação. Figura 26.

Figura 26 – Função temporizador

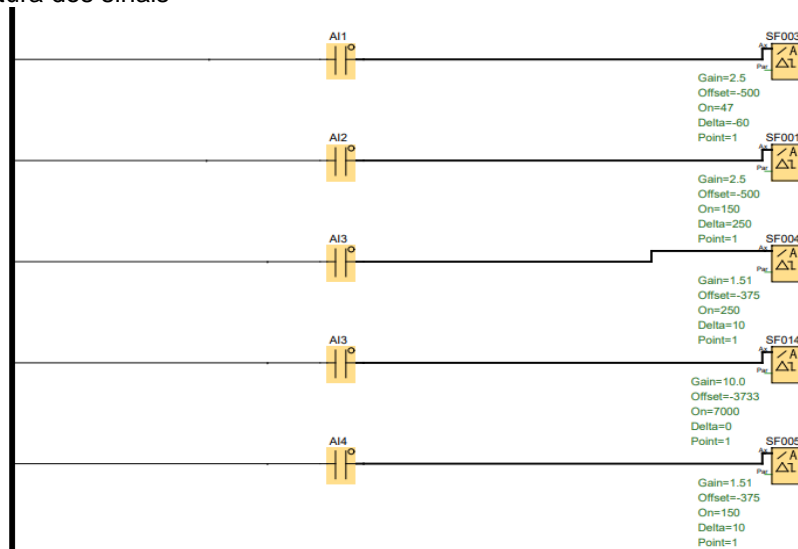


Fonte: LOGO! Soft Comfort, 2025

4.2.3.3 Função “Leitura e Tratamento das Variáveis de Processo”

As variáveis de processo monitoradas são as pressões e a temperaturas. Cada uma delas é lida por meio de uma entrada analógica (AI1, AI2, AI3 e AI4), Figura 27, que recebem os sinais dos transdutores de pressão sinal 4-20mA e dos sensores de temperatura do tipo PT100. Os sinais são processados pelos blocos do tipo Ax (SF001, SF003, SF004 e SF005), responsáveis por aplicar ganho e *offset* conforme os parâmetros de calibração específicos de cada sensor. Após esse ajuste, os sinais são interpretados como estados de níveis analógicos de acordo com a finalidade de cada entrada.

Figura 27 – Leitura dos sinais



Fonte: LOGO! Soft Comfort, 2025

As entradas analógicas **AI1**, **AI2**, **AI3** E **AI4** organizadas no Quadro 4.

Quadro 4 — Entradas Analógicas

Entrada	Variável Monitorada	Ganho	Offset	Ponto de Atuação	Delta (Histerese)	Observações
AI1	Temperatura Ambiente	2,5	-500	47 °C	-60 (implícito)	Comutador analógico SF003
AI2	Temperatura de Sucção	2,5	-500	150 °C	250	Utiliza mesmo ganho/offset de AI1
AI3	Pressão Alta ("High")	1,51	-375	250 e 7000 PSI	0	Dois limiares distintos (SF004/SF014)
AI4	Pressão Baixa ("Low")	1,51	-375	150 PSI	—	Sensor com atuação única (SF005)

Fonte: Autor, 2025

4.2.3.4 Função Interface Homem-Máquina - Indicações Visuais e Sinalização Operacional

Após a conversão dos sinais analógicos em digitais, os dados são enviados à Interface Homem-Máquina (IHM) para exibição e interação com o operador. Para viabilizar essa comunicação, o sistema utiliza memórias internas (M26, M30 e M31), responsáveis pelo controle da retroiluminação da IHM LOGO! TDE, as quais indicam diferentes estados operacionais do sistema: M26 aciona a iluminação branca, representando condição de operação normal; M30 ativa a iluminação âmbar, Figura 28, indicando estado de atenção ou advertência; e M31 comanda a iluminação vermelha, caracterizando uma condição de alarme.

Figura 28 – M30 Indicação de sinalização visual



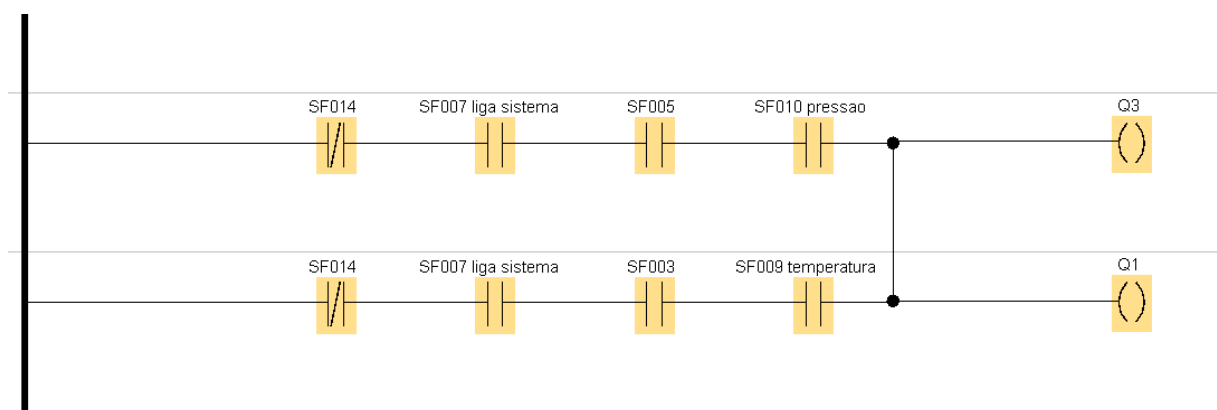
Fonte: LOGO! *Soft Comfort*, 2025

Essa solução oferece uma forma clara e intuitiva de monitorar o status operacional do sistema. A padronização das cores, branco para operação normal, âmbar para atenção e vermelho para alarme, facilita a identificação imediata de falhas ou condições críticas, contribuindo para uma resposta rápida dos operadores e promovendo maior segurança e eficiência no processo.

4.2.3.5 Controle das Saídas

As saídas digitais do sistema são acionadas com base em condições lógicas estruturadas a partir da leitura e interpretação das variáveis do processo, temperatura e pressão processadas pelos blocos de comparação analógicos e condicionadas por estado lógico da memória SF007. O acionamento ocorre apenas quando todas as condições de “Habilita sistema” e “Liga sistema” são atendidas simultaneamente, Figura 29.

Figura 29 – Leitura dos sinais



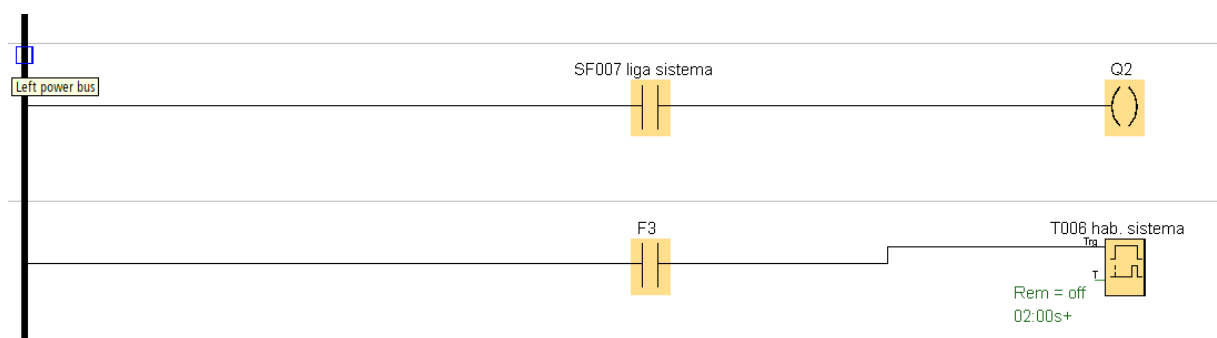
Fonte: LOGO! *Soft Comfort*, 2025

As saídas digitais **Q1** e **Q3** correspondem aos elementos de controle, “Controle por Temperatura” ou “Controle por Pressão” e LED 2 “Liga Sistema”. Seu acionamento é condicionado à ativação do bloco de memória SF007 e à verificação de que as

variáveis de temperatura e pressão se encontram dentro dos limites operacionais estabelecidos. Essa lógica é implementada por meio de blocos lógicos do tipo **AND**, assegurando que ambas as condições sejam simultaneamente atendidas.

A saída digital **Q2**, Figura 30, é acionada quando a tecla F3, localizada na Interface Homem-Máquina (IHM), é pressionada continuamente por 2 segundos. Essa condição representa “Habilita Sistema” e aciona o LED1, informando visualmente que o “Painel Energizado”.

Figura 30 – Saída digital **Q2**

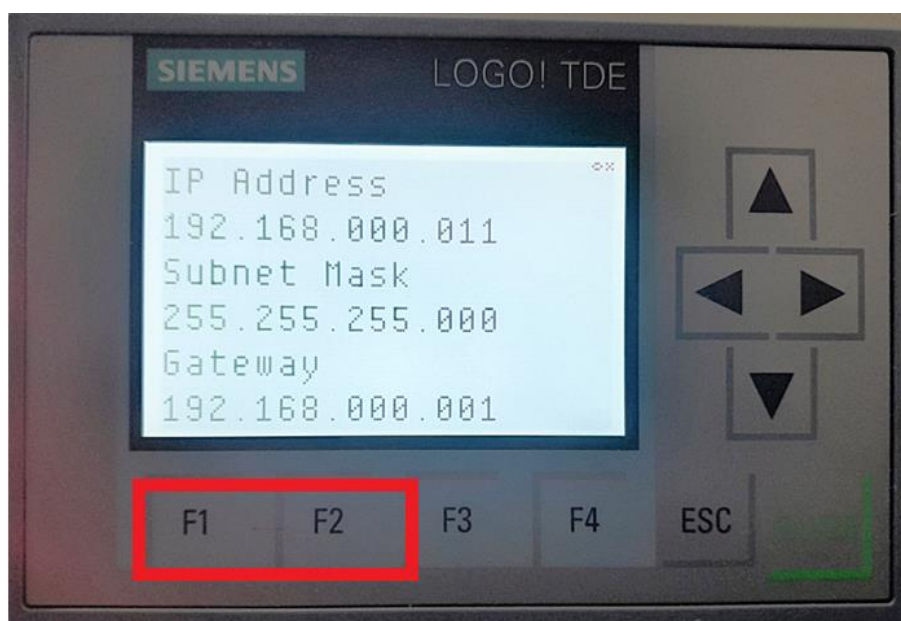


Fonte: LOGO! Soft Comfort, 2025

4.2.3.6 Finalizando a linguagem *Ladder*

A desativação do sistema é realizada por lógica de **Reset do SF007**, ativada automaticamente por condições de falha de temperatura ou pressão fora da faixa ou manualmente quando pressionado F1 ou F2 localizada na Interface Homem-Máquina (IHM) ou quando acionado o Botão de Emergência. Esse desligamento retorna o sistema a um estado seguro e inativo, impedindo a continuidade da operação até nova habilitação. Figura 31.

Figura 31 – Tecla F1 e F2



Fonte: LOGO! Soft Comfort, 2025

A programação foi desenvolvida com foco na operação segura e automatizada do sistema de refrigeração, utilizando controle baseado em variáveis físicas e lógicas de intertravamento. A estrutura em *Ladder* adotada proporciona uma visualização clara e organizada do processo.

A montagem do sistema e os testes de validação do protótipo foram essenciais para definir as estratégias de controle aplicadas, como o escalonamento de sinais analógicos, comparações com histerese, uso de temporizadores e sinalizações visuais.

A análise dos resultados e as discussões realizadas demonstraram que os objetivos do projeto foram plenamente alcançados, oferecendo uma solução compatível com as boas práticas industriais aplicadas a sistemas de refrigeração.

CONCLUSÃO

A realização deste projeto permitiu demonstrar, de forma prática e objetiva, como a readequação técnica, por meio da aplicação de Controladores Lógicos Programáveis (CLPs), contribui significativamente para a modernização de sistemas antigos de geração de frio anteriormente operados com controle analógico. A substituição de tecnologias obsoletas por soluções digitais viabiliza o monitoramento contínuo das variáveis de temperatura e pressão, garantindo maior controle e eficiência operacional.

A integração entre sensores industriais, Controladores Lógicos Programáveis e Interface Homem-Máquina, resultou em uma solução automatizada eficiente, capaz de melhorar o desempenho dos equipamentos frigoríficos ao garantir seu funcionamento dentro das condições ideais, além de reduzir a incidência de falhas humanas. A visualização local das variáveis, em tempo real, por meio da IHM instalada no equipamento dentro da sala de máquinas, mostrou-se um fator determinante para a agilidade e eficácia na tomada de decisões, permitindo que os operadores atuem de forma imediata em caso de desvios ou falhas nos parâmetros críticos do sistema.

Além disso, o projeto evidencia como a coleta estruturada de dados térmicos e de pressão pode futuramente ser armazenada em banco de dados, possibilitando o acesso remoto e a análise histórica, criando bases para sistemas preditivos e integrados. Esse modelo de controle favorece a identificação de falhas ocultas, como sensores inoperantes em áreas críticas, exemplo, um trocador de calor que falha ao manter a temperatura adequada em uma câmara fria, comprometendo a qualidade do produto armazenado.

Sendo assim, os benefícios operacionais observados incluem, controle mais preciso dos processos, melhoria na segurança operacional, redução de perdas produtivas, facilidade de supervisão e suporte à manutenção preditiva, todos elementos fundamentais no contexto da Indústria 4.0. A utilização da linguagem *Ladder*, associada ao software *LOGO! Soft Comfort*, proporcionou uma implementação funcional e acessível, já que sua estrutura em blocos lógicos remete aos diagramas unifilares, facilitando a compreensão por profissionais da área. Dessa forma, o *retrofit* tecnológico mostrou-se uma solução sustentável, eficiente e tecnicamente viável para a modernização de sistemas frigoríficos.

O aprendizado adquirido ao longo do projeto reforça a importância da inovação na modernização de sistemas analógicos. Trabalhar com tecnologias que integram *hardware*, *software* e inteligência de monitoramento representa um caminho promissor para empresas que buscam maior eficiência energética em seus processos.

REFERÊNCIAS

- ALVES, D. P.; *et al.* **Gerador de Plasma frio de baixo custo**. São Paulo: Blucher, 2017.
- ALVES, P. G. **Modelagem e controle de laminadores tandem de tiras a frio**. 2022.
- ARMBRUST, M.; *et al.* *A view of cloud computing*. **Communications of the ACM**, v. 53, n. 4, p. 50-58, 2010.
- ASHRAE. **ASHRAE Handbook: Fundamentals**. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, 2013.
- BENTLEY, J. P. **Principles of Measurement Systems**. 4. ed. Essex: Pearson Education, 2005.
- BERGMAN, T. L.; LAVINE, A. S.; INCROPERA, F.P.; DEWIT D. P. **Fundamentals of heat and mass transfer**. 7. ed. New York: John Wiley & Sons, 2016.
- BICHEFSKY, L. J. **Introdução à computação**. São Paulo: Pearson, 2018.
- BRASIL. Ministério da Saúde. **Manual da Rede de Frio**. 5. ed. Brasília: MS, 2017. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/manual_rede_frio5ed.pdf. Acesso em: 09 jun. 2025.
- CASTRO SILVA, A. **Refrigeração e Climatização para Técnicos e Engenheiros**. 2. ed. São Paulo: Érica, 2013.
- CHRYSOSTOMO, G. G. de C. **Métodos analíticos para apoio à manutenção de usinas hidrelétricas**. 2020.
- COSTA, C. H.; MENDES, D. J. Sensores inteligentes de temperatura: aplicações industriais e desafios atuais. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, v. 4, n. 1, p. 71-87, 2020. Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharias/sensores-inteligentes>. Acesso em: 11 jun. 2025.
- COSTA, Ê. C. **Refrigeração Industrial: princípios - ciclos, projetos e cálculos**. São Paulo: Edgard Blücher, 1982.
- COSTA, L. A. F.; *et al.* *Advanced digital integration of tailored networks for automated systems in industry 4.0 – a review of cyber-physical systems for smart manufacturing*. **Computers & Electrical Engineering**, v. 92, 107221, 2021.
- COSTA, R. S.; *et al.* Internet das Coisas e Automação Industrial. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, v. 5, n. 10, p. 155-168, 2021.
- DAABOUL, J.; DOMANSKI, P. A.; DABILOVIC, M. *A comparison of refrigerants in small to medium sized air-conditioners and heat pumps*. **Energy and Buildings**, v. 83, p. 214-224, 2014.

DANILOVIC, M.; VIDOVIC, M.; DUCIC, N.; BANOVCANIN, G. *Performance criteria of environmental friendly refrigerants in comparison with standard R-22*. **Energy and Buildings**, v. 61, p. 223-231, 2013.

DELIBERAL, E. A.; PAULETTI, H. C. Estudo de viabilidade técnica para alteração da concepção de um sistema de refrigeração por compressão para absorção. **Anais de Engenharia Química**, v. 1, n. 1, p. 90–112, 2022.

DMITRUK, H. B. (Org.). **Cadernos metodológicos: diretrizes da metodologia científica**. 5. ed. Chapecó: Argos, 2001. 123 p.

DOEBELIN, Ernest O.; MANIK, Dhanesh N. **Measurement Systems: Application and Design**. 6. ed. New York: McGraw-Hill, 2011.

DORF, R. C.; BISHOP, R. H. **Modern control systems**. 13. ed. London: Pearson, 2018.

DUNN, W. R. **Introduction to Instrumentation, Sensors, and Process Control**. Artech House, 2013.

ELECTRON. **Sensor de temperatura do tipo RTD PT100**. 2025. Disponível em: www.electron.com.br. Acesso em: 14 maio 2025.

FRADEN, J. **Handbook of Modern Sensors: Physics, Designs, and Applications**. 5. ed. Berlin: Springer, 2016.

FRADEN, J. **Handbook of Modern Sensors: Physics, Designs, and Applications**. 4. ed. New York: Springer, 2010.

FRANCHI, A.; CAMARGO, L. C. **Controladores Lógicos Programáveis – Aplicações e Programação**. 2. ed. São Paulo: Érica, 2021.

FRANCHI, G. F. P.; CAMARGO, M. A. A. Técnicas de acionamento de motores para requisitos de desempenho em aplicações sem fio. NATIONAL SYMPOSIUM ON PRODUCTION ENGINEERING, 2021.

FRANCO, A. T. **Trocadores de Calor**. 2. ed. São Paulo: Edgar Blücher, 2008.

HAUPT, H.; DACHI, M. Conceitos. In: _____. **Informática básica para concursos**. 7. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2018. cap. 3, p. 69-85.

HONGSEN. **What is the working principle of na expansion valve?** 2025. Disponível em: <https://www.hongsenref.com/blog/What-is-the-working-principle-of-an-expansion-valve/>. Acesso em: 12 maio 2025.

INCROPERA, F.P.; DEWITT, D.P.; BERGMAN, T.L.; LAVINE, A.S. **Fundamentals of Heat and Mass Transfer**. 6th ed. USA: John Wiley & Sons, 2007.

JUNIOR, S. F. C. **Industrial automation systems: design, control and diagnostics**. Berlin: Springer International Publishing, 2019.

- KAKAÇ, S.; LIU, H.; PRAMUANJAROENKIJ, A. **Heat Exchangers: Selection, Rating, and Thermal Design**. 3. ed. Boca Raton: CRC Press, 2012.
- KOTEKAR, N.; MTYALA, Z. *Performance analysis of refrigeration system with different configurations of compressor*. **International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development**, v. 8, n. 3, p. 327–336, 2018.
- KREITH, F.; MANGLIK, R. M.; BOHN, M. S. **Principles of heat transfer**. 7. ed. Stanford: Cengage Learning, 2010.
- KUROSE, J. F.; ROSS, K. W. **Computer Networking: A Top-Down Approach**. 7. ed. London: Pearson, 2016.
- LIMA, F. R.; BARBOSA, M. A. Introdução à programação de CLPs com ênfase no Siemens LOGO! Soft Comfort. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada**, v. 12, n. 2, p. 56–64, 2020.
- MCGARRY, J. D.; ORONO-ZABALETA, A.; TURNER, S.; GE, Y. T. *Hydrofluoroolefins (HFOs) as the fourth generation refrigerants*. **Refrigeration Science and Technology**, v. 1, p. 43-60, 2017.
- MCQUISTON, F. C.; PARKER, J. D. **Heating, Ventilating, and Air Conditioning Analysis and Design**. 6. ed. John Wiley & Sons, 2005.
- MELL, P.; GRANCE, T. **The NIST definition of cloud computing**. 2011. Disponível em: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/SP/nistspecialpublication800-145.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2023.
- MENG, F.; *et al.* *Real-time monitoring system of IWSNs based on all-in-one machine and PLC communication method*. 2019. **IEEE Information Technology, Networking, Electronic and Automation Control Conference (ITNEC)**, v. 4, 2019.
- MENG, Q.; *et al.* *Smart industrial control with PLC integration: A review*. **Automation in Construction**, v. 105, p. 102-110, 2019.
- MOURA, A. M.; *et al.* **Automação Industrial: Controladores Lógicos Programáveis**. 2. ed. São Paulo: Érica, 2018.
- OLIVEIRA, P. R. de; *et al.* *Desafios e direcionamentos tecnológicos para integração de sistemas supervisórios e de informações em setores elétricos*. **Revista Controle & Automação**, v. 28, n. 2, p. 199-213, 2017.
- PAHL, G.; BEITZ, W.; FELDHUSEN, J.; GROTE, K. H. **Engineering Design: A Systematic Approach**. Springer, 2005.
- PATTERSON, D. A.; HENNESSY, J. L. **Computer organization and design MIPS edition: the hardware/software interface**. San Francisco: Morgan Kaufmann, 2014.
- PATTERSON, R. **Introduction to Sensors for Ranging and Imaging**. SciTech Publishing, 2012.

POWEL, J.; ANDREWS, G. *Practical Guide to Energy Management for Processors. European Plastics News*, London, 2005.

PRESSMAN, R. S. **Engenharia de Software**. 8. ed. McGraw-Hill, 2016.

PRESSMAN, R. S.; MAXIM, B. R. **Engenharia de software: uma abordagem profissional**. 8. ed. Porto Alegre: AMGH, 2018.

RIBEIRO, C. L. **Automação Industrial com CLPs: Fundamentos, Programação e Aplicações Práticas**. São Paulo: Érica, 2019.

SANGOI, A. R.; PANDOLFO, A. Fundamentos da refrigeração. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Civil**, n. 8, p. 1-22, 2012.

SARDA, Y. R.; SINGH, R. **Refrigeration and Air Conditioning**. S. Chand Publishing, 2010.

SEETHARAMAN, P.; *et al.* *Maturing of the Internet of Things: A framework for the management of IoT in manufacturing: the role of big-data analytics and decision-making methods*. **International Journal of Production Research**, v. 60, n. 1-2, p. 73-88, 2020.

SHI, G.; *et al.* *Advanced process control methods and algorithms in PLC-based industrial control systems: a systematic review*. **IEEE Access**, v. 8, p. 108128-108144, 2020.

SHI, Y.; *et al.* *Industrial automation with PLCs and SCADA systems*. **Journal of Industrial Engineering and Management**, v. 13, n. 2, p. 289-305, 2020.

SIEMENS. **LOGO! Manual do Usuário – LOGO! 8.3 e Soft Comfort V8.3**. Siemens AG, 2021. Disponível em: <https://support.industry.siemens.com>. Acesso em: 27 jun. 2025.

SILVA, F. G. da. **Automação: o controle de processos industriais**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

SILVA, R. A.; NASCIMENTO, F. A. Controle e automação de sistemas térmicos utilizando CLP. **Revista Engenharia & Ciência**, v. 9, n. 1, p. 22-30, 2022.

SILVA, R. M. **Automação Industrial e CLP**. São Paulo: Érica, 2016.

SINCLAIR, I. R. **Sensors and Transducers**. 3. ed. Newnes, 2016.

SMACNA BRASIL. **Compressores em sistemas HVAC-R**. 2022. Disponível em: <https://smacna.org.br/artigos-tecnicos/compressores-em-sistemas-hvac-r/>. Acesso em: 24 jun. 2025.

SOMMERVILLE, I. **Engenharia de software**. 9. ed. São Paulo: Pearson, 2011.

STOECKER, W. F.; JABARDO, J.M.S. **Refrigeração Industrial**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2002.

STOECKER, W.F.; JONES, J.W. **Refrigeration and Air Conditioning**. 2. ed. New York: McGraw-Hill, 1998.

TROTT, A. R; WELCH, T. **Refrigeration and Air Conditioning**. 3. ed. Butterworth-Heinemann, 2006.

VAJPAYEE, A.; MOHAN, R.; GANGARAPU, S.; CHILUKOORI, V. V. R. *Real-Time Data Processing in Predictive Maintenance: Enhancing Industrial Efficiency and Equipment Longevity*. **International Journal of Engineering and Technology Research**, v. 9, n. 2, p. 29-42, 2024.

WEBSTER, J. G. **Measurement, Instrumentation, and Sensors Handbook**. 2. ed. CRC Press, 1999.

WIKA. **Transdutor de pressão 4 a 20mA**. 2025. <https://www.wika.com>. Acesso em: 10 jun. 2025.

YAN, X.; *et al.* *An overview of process control development in automation history*. **Control Engineering Practice**, v. 95, 104263, 2020.

ZHANG, D.; *et al.* *Ontology-Based Event-Driven Information Integration in the Real-Time Supervisory System*. **IEEE Transactions on Automation Science and Engineering**, v. 14, n. 2, p. 951-961, 2016.

APÊNDICE – PROGRAMAÇÃO



Programação_TFC_J
ONATAN.pdf