



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

PABLO DA ROCHA FREITAS SILVA

**PROJETO DE UMA APLICAÇÃO SIMULADA PARA CONTROLE DE PLANTA DE  
PROCESSO NA ARQUITETURA DCS**

Recife  
2025

PABLO DA ROCHA FREITAS SILVA

**PROJETO DE UMA APLICAÇÃO SIMULADA PARA CONTROLE DE PLANTA DE  
PROCESSO NA ARQUITETURA DCS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
ao Departamento de Engenharia Elétrica da  
Universidade Federal de Pernambuco, como  
requisito parcial para obtenção do grau de  
Bacharel em Engenharia de Controle e  
Automação.

Orientador(a): Prof. Dr. Douglas Contente Pimentel Barbosa

Recife  
2025

**Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do programa de geração automática do SIB/UFPE**

Silva, Pablo da Rocha Freitas .

Projeto de uma aplicação simulada para controle de planta de processo na arquitetura DCS / Pablo da Rocha Freitas Silva. - Recife, 2025.  
67 p. : il., tab.

Orientador(a): Douglas Contente Pimentel Barbosa

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Engenharia de Controle e Automação - Bacharelado, 2025.

Inclui referências, apêndices, anexos.

1. SDCD. 2. Controle PID . 3. Projeto de Automação. 4. Sistema Supervisório.  
5. Simulação de Processo. I. Barbosa, Douglas Contente Pimentel . (Orientação).  
II. Título.

620 CDD (22.ed.)

PABLO DA ROCHA FREITAS SILVA

**PROJETO DE UMA APLICAÇÃO SIMULADA PARA CONTROLE DE PLANTA DE  
PROCESSO NA ARQUITETURA DCS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
ao Departamento de Engenharia Elétrica da  
Universidade Federal de Pernambuco, como  
requisito parcial para obtenção do grau de  
Bacharel em Engenharia de Controle e  
Automação

Aprovado em: 12/12/2025

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Douglas Contente Pimentel Barbosa (Orientador)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof. Dr. Geraldo Leite Maia Júnior (Examinador Interno)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Eng. M.Sc. Gustavo Azevedo Teixeira (Examinador Interno)  
Universidade Federal de Pernambuco

Este trabalho é dedicado primeiramente à Deus, aquele em que tudo podemos ao depositar nossa confiança nele, minha família e amigos companheiros de curso. Espero que este trabalho traga inspiração aos futuros engenheiros de controle e automação.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado forças para persistir e prevalecer até aqui, sem Ele nada seria possível; à minha mãe por suas incansáveis horas de orações e intercessões por mim e ao meu pai, irmãs e sobrinhos que estiveram comigo sempre, preenchendo minha vida de alegria e risadas.

Sou grato também às amizades construídas ao longo dessa caminhada porque nenhuma conquista é individual, algumas feitas no início da jornada e outras ao meio e fim, são eles: Emily Marques, Wallace Santos, Genilson Souza, Fernando Arnhold, Caio Judá e Lucas Florentino; tornaram esse trajeto mais leve e, portanto, espero corresponder às expectativas de vocês.

A Avante Automação, agradeço ao meu coordenador Igor Paiva por me apresentar a ferramenta de engenharia SIMIT, que foi crucial para modelagem da planta, e ao meu amigo engenheiro Nicolas Neto pelo trabalho em conjunto.

Por último, não menos importante, ao meu orientador Prof. Douglas Contente cujo sobrenome define de fato sua essência como docente. Suas orientações e sábios conselhos, que inclusive transpassaram o meio acadêmico e se tornaram dicas valiosas para a vida, foram cruciais para o meu desenvolvimento. Espero um dia me tornar um engenheiro como senhor.

Tudo é loucura ou sonho no começo. Nada do que o homem fez no mundo teve início de outra maneira – mas já tantos sonhos se realizaram que não temos o direito de duvidar de nenhum.  
(Monteiro Lobato)

## RESUMO

Este trabalho aborda o desenvolvimento de um projeto de sistema de controle supervisório na arquitetura DCS (*Distributed Control System*, em português SDCD - Sistema Digital de Controle Distribuído) aplicado em uma planta de processo modelada e comissionada em uma plataforma de simulação. O DCS a ser implementado utilizará a solução PCS7 (*Process Control System*) na sua versão 9.1, com a lógica de programação e controle realizadas por meio das linguagens CFC (*Continuous Function Chart*) e SFC (*Sequential Function Chart*) no software SIMATIC Manager, utilizando a CPU S7-400, em conjunto com o sistema de supervisão WinCC. O objetivo central deste trabalho consiste em integrar o nível de campo, contemplando sensores e atuadores, a uma planta industrial simulada de aquecimento de água, com os níveis de controle e supervisão realizados por meio de um DCS amplamente adotado como solução de automação em plantas de processo amplas e complexas, tais como: petróleo e gás, energia, química, papel e celulose. Como resultado, obteve-se a integração do processo simulado com seu sistema de controle PID e lógica automática de funcionamento, permitindo que a operação e a supervisão do processo fossem realizadas de forma centralizada por meio do DCS, evidenciando as particularidades da arquitetura DCS aplicadas a um projeto de engenharia voltado a um processo industrial típico.

**Palavras-chave:** SDCD; Controle PID; Projeto de Automação; Sistema Supervisório; Simulação de Processo.

## ABSTRACT

This work addresses the development of a supervisory control system project within a DCS (Distributed Control System) architecture applied to a process plant modeled and commissioned on a simulation platform. The DCS to be implemented uses the PCS7 (Process Control System) solution in version 9.1, with programming logic and control executed through the CFC (Continuous Function Chart) and SFC (Sequential Function Chart) languages in the SIMATIC Manager software, using an S7-400 CPU together with the WinCC supervisory system.

The main objective of this work is to integrate the field level, including sensors and actuators, with a simulated industrial water heating plant, and the control and supervision levels implemented through a DCS widely adopted as an automation solution for large-scale and complex process plants, such as those in the oil and gas, energy, chemical, and pulp and paper industries. As a result, the integration of the simulated process with its PID control system and automatic operating logic was achieved, allowing the process operation and supervision to be performed in a centralized manner through the DCS, highlighting the particularities of the DCS architecture applied to an engineering project focused on a typical industrial process.

**Keywords:** DCS; PID Control; Automation Design; Supervisory System; Process Simulation.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Divisão percentual do mercado de DCS no mundo. ....	16
Figura 2 - Exemplo de uma arquitetura DCS.....	20
Figura 3 - Divisão do SIMATIC Manager.....	21
Figura 4 - Funcionamento interno PCS7. ....	22
Figura 5 - Exemplo de hardware do PCS7.....	23
Figura 6 - Exemplo de blocos CFC. ....	24
Figura 7 - Funcionamento interno SFC. ....	25
Figura 8 - Funcionamento interno SCL. ....	26
Figura 9 - Simbologia P&ID. ....	27
Figura 10 - Exemplo P&ID.....	28
Figura 11 - Simbologia do diagrama lógico. ....	29
Figura 12 - Exemplo de diagrama lógico.....	29
Figura 13 - Simbologia do diagrama de malha.....	30
Figura 14 - Exemplo de diagrama de malha.....	31
Figura 15 - Funcionamento interno do SIMIT. ....	31
Figura 16 - Aquecedor elétrico. ....	32
Figura 17 - Controle PID. ....	33
Figura 18 - Modelo da planta original. ....	36
Figura 19 - Modelo da planta adotado neste trabalho. ....	37
Figura 20 - Arquitetura de virtualização da estação de automação.....	38
Figura 21 - Ambiente de simulação da CPU. ....	39
Figura 22 - Arquitetura completa do sistema.....	40
Figura 23 - Exportação de tags no SIMATIC Manager.....	44
Figura 24 - Escalonamento das E/S.....	44
Figura 25 - Rampa de operação dos equipamentos. ....	45
Figura 26 - Modelagem da planta em condições iniciais.....	47
Figura 27 - Estrutura de hardware.....	48
Figura 28 - Criação de um CMT para os dispositivos de campo. ....	49
Figura 29 - CFC desenvolvido para Heather.....	50
Figura 30 - Sequência automática do sistema. ....	51
Figura 31 - Criação da tela do processo. ....	53

Figura 32 - Ferramenta de configurações da tela (Picture).....	54
Figura 33 - Sistema de supervisão inicial.....	55
Figura 34 - Sistema de modelagem ao final do ciclo automático. ....	56
Figura 35 - Sistema de supervisão ao final do ciclo automático.....	56

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Atuadores.....	41
Tabela 2 – Sensores.....	41
Tabela 3 – <i>Feedbacks</i> .....	42
Tabela 4 - Parâmetros dos controladores PI.....	52

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AS	<i>Automation Station</i>
CFC	<i>Continuous Function Chart</i>
CLP	Controlador Lógico Programável
CMT	<i>Control Model Type</i>
CPU	<i>Central Processing Unit</i>
DCS	<i>Distributed Control System</i>
EMT	<i>Equipment Model Type</i>
ES	<i>Engineering Station</i>
ISA	<i>International Society of Automation</i>
MV	<i>Manipulated Variable</i>
OPC	<i>Open Platform Communications</i>
OS	<i>Operating Station</i>
PCS7	<i>Process Control System 7</i>
P&ID	<i>Piping and Instrumentation Diagram</i>
PID	Proporcional, Integral e Derivativo
PTT	<i>Process Tag Type</i>
PV	<i>Process Variable</i>
SCADA	<i>Supervisory Control and Data Acquisition</i>
SDCD	Sistema Digital de Controle Distribuído
SCL	<i>Structured Control Language</i>
SFC	<i>Sequential Function Chart</i>
SIS	Sistema Instrumentado de Segurança
SP	<i>Setpoint</i>

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
1.1	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	17
1.2	OBJETIVOS .....	18
1.3	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	18
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>20</b>
2.1	ARQUITETURA DCS .....	20
2.1.1	O sistema PCS7 .....	21
2.1.2	Linguagem CFC.....	24
2.1.3	Linguagem SFC.....	25
2.1.4	Linguagem SCL.....	26
2.2	DOCUMENTOS DE ENGENHARIA .....	27
2.2.1	P&ID: Norma ISA 5.1.....	27
2.2.2	Diagrama Lógico: Norma ISA 5.2 .....	28
2.2.3	Diagrama de Malhas: Norma ISA 5.4 .....	29
2.3	SIMIT .....	31
2.4	AQUECEDOR ELÉTRICO ( <i>ELECTRIC HEATER</i> ).....	32
2.5	CONTROLADOR PID.....	33
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>35</b>
3.1	MODELO DA PLANTA .....	35
3.2	ESTRUTURA DA ARQUITETURA DE SIMULAÇÃO .....	37
3.2.1	Ambiente de virtualização.....	37
3.2.2	Simulação da CPU .....	38
3.2.3	Integração com SIMIT .....	39
3.2.4	Descrição dos dados trocados entre os sistemas .....	40
<b>4</b>	<b>INTEGRAÇÃO ENTRE PCS7 E SIMIT .....</b>	<b>43</b>
4.1	CONFIGURAÇÃO DO SIMIT .....	43
4.1.1	Importação das tags e escalonamento .....	43
4.1.2	Parametrização das rampas de operação dos equipamentos.....	45
4.1.3	Modelagem da planta .....	46
4.2	CONFIGURAÇÃO DO PCS7.....	47
4.2.1	Estrutura de hardware .....	47
4.2.2	Estrutura dos CFC .....	48
4.2.3	Estrutura em SFC da sequência automática .....	50
4.2.4	Sintonia dos controladores PID .....	51
4.2.5	Parametrização do sistema de supervisão WinCC .....	52
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E ANÁLISES .....</b>	<b>55</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE CONTINUIDADE .....</b>	<b>58</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>60</b>

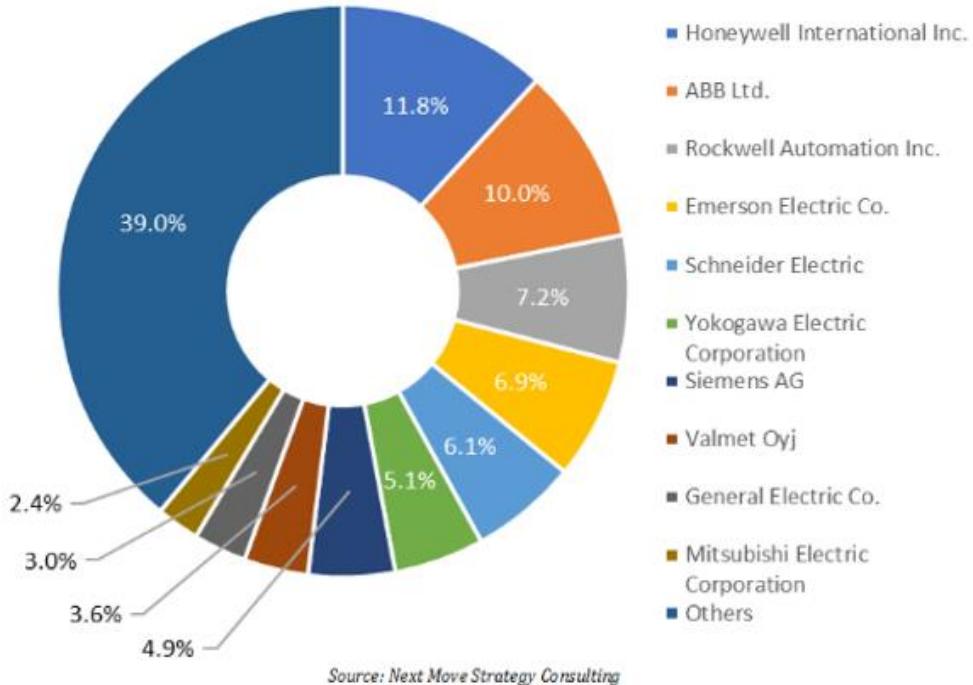
<b>APÊNDICES.....</b>	<b>63</b>
<b>APÊNDICE A – Exemplo de <i>rack</i> com DCS PCS7 .....</b>	<b>63</b>
<b>APÊNDICE B – P&amp;ID da planta conforme ISA 5.1 .....</b>	<b>64</b>
<b>APÊNDICE C – Sequência automática conforme ISA 5.2.....</b>	<b>65</b>
<b>APÊNDICE D – Diagrama de malha dos controladores conforme ISA 5.4.....</b>	<b>66</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>67</b>
<b>ANEXO A – Códigos de instrumentos baseados na norma ISA 5.1 .....</b>	<b>67</b>

## 1 INTRODUÇÃO

No contexto da pirâmide de automação (FROES, REIS, *et al.*, 2021), é fundamental estabelecer a conexão entre os dispositivos de campo, como sensores e atuadores, e os de níveis superiores de controle e supervisão. Sob essa perspectiva, identificam-se três arquiteturas possíveis: SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*), CLP (Controlador Lógico Programável) e DCS (*Distributed Control System*, em português SDCD – Sistema Digital de Controle Distribuído). A arquitetura SCADA distingue-se, sobretudo, por ser orientada ao monitoramento de processos distribuídos geograficamente, atendendo à necessidade de supervisão remota por meio de redes de comunicação (POSTOVEI, BULAC, *et al.*, 2020). Por outro lado, nos processos de manufatura, é habitual a adoção de um controle centralizado, interligado a uma ampla rede de comunicação industrial, tendo o CLP como elemento central da solução. Entretanto, processos industriais de maior complexidade, requerem a arquitetura DCS, a qual integra uma infraestrutura abrangente de *hardware* e *software* e, assim, assegura características como confiabilidade, redundância, segurança operacional, arquitetura integrada e elevada robustez ao controle (ARKADIUSZ HULEWICZ, 2019).

O avanço contínuo da industrialização, aliado ao cenário de globalização, intensifica a demanda no mercado de automação industrial, especialmente no que se refere à arquitetura DCS. Estima-se que esse segmento evolua de US\$ 19,9 bilhões em 2023 para US\$ 26,7 bilhões até 2028, sendo projetado que a região Ásia-Pacífico detenha a maior participação de mercado, seguida pela América do Norte e Europa (Markets and Markets, 2025). Atualmente, o setor de DCS é composto majoritariamente por grandes fabricantes, tais como: Honeywell, Emerson e Rockwell (Estados Unidos); Siemens (Alemanha); Schneider (França); ABB (Suíça); e Yokogawa (Japão). Na Figura 1, observa-se a distribuição percentual do mercado da arquitetura DCS em âmbito global.

Figura 1 - Divisão percentual do mercado de DCS no mundo.



Fonte: (NEXTMSC, 2025).

Apesar de sua extensa utilização na indústria, de forma antagônica, observa-se que o Brasil ainda pouco explora a arquitetura DCS nos cursos de engenharia de controle e automação de suas principais universidades. Entre as 10 melhores instituições do país, segundo (Ranking Universitário, 2023), poucas são as que apresentam em seus planos curriculares disciplinas diretamente relacionadas ao tema. Listando, em ordem crescente de classificação, as instituições são: Unicamp (UNICAMP, 2024), UFSC (UFSC, 2024), UFMG (UFMG, 2024), UFRJ (UFRJ, 2008), UFRGS (UFRGS, 2024), UTFPR (UTFPR, 2017), UNESP (UNESP, 2023), UFSM (UFSM, 2023), UFU (UFU, 2020) e UFPE (UFPE, 2024); e somente a UFSC oferece uma pós-graduação em engenharia de automação e sistemas, no qual, apresenta alguns tópicos sobre DCS (PosAutomação UFSC, 2024). Já, para graduação, somente a UFMG (UFMG, 2024) e a UFPE (UFPE, 2024) apresentam disciplinas que introduzem a essa arquitetura, respectivamente ELT008 - Informática Industrial e EL506 – Projeto de Automação Industrial, porém, sem aprofundar em sistemas de fabricantes.

Diante desse cenário, este trabalho propõe a implementação de uma aplicação prática de controle para uma planta de processo de aquecimento de água industrial,

utilizando a arquitetura DCS, com o intuito de fornecer mais recursos para a introdução desse tema no ambiente acadêmico. Ao longo do texto, serão introduzidos a aplicação e os documentos inerentes ao projeto de engenharia, com o propósito de despertar o interesse do leitor e fornecer uma abordagem inicial sobre o assunto.

## 1.1 Revisão Bibliográfica

A arquitetura DCS tem sido empregada em diversos projetos de automação ao longo dos anos, incluindo iniciativas acadêmicas conduzidas por universidades em diferentes países. Os pesquisadores (PANG, CAI e LONG, 2024) abordam, em seu estudo, o desenvolvimento de um sistema de caldeiras industriais utilizando controle em cascata por meio do PCS7, pesquisa realizada com o apoio da *Wuhan University of Technology*, na China. Em contrapartida, os autores (CABRERA e ROJAS-MORENO, 2022) desenvolveram uma solução de engenharia utilizando o DCS PlantPax, da fabricante Rockwell, aplicada a uma planta didática multiuso, supervisionada pelo FactoryTalk, instalada na *Universidad de Ingeniería y Tecnología* (UTEC), no Peru. Parte dos dados foi obtida a partir de um CLP Siemens, e os dispositivos das diferentes fabricantes foram integrados por meio de um servidor OPC (*Open Platform Communications*).

Por sua vez, os cientistas (KADU, TIDAME e P. S. VIKHE, 2019) utilizaram o PCS7, versão 8.1, para o controle de uma planta de nível por meio de um controlador PID no laboratório de engenharia da *Savitribai Phule Pune University*, Índia. Uma abordagem de controle e supervisão do processo de despacho de ácido acético foi desenvolvida por (CHAMORRO-ATALAYA, e ARCE-SANTILLAN, 2020) na *Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur*, utilizando uma arquitetura híbrida composta pelo DCS PCS7, versão 8.1 e pela CPU S7-400, em conjunto com um CLP S7-1200, ambos da Siemens. O PCS7 também foi aplicado por (SATHEESWARAN, HOLLFELDB, *et al.*, 2017) no *Central Institute for Engineering, Electronics and Analytics*, na Alemanha, como solução de automação para um sistema de carregamento e descarregamento de sondas elétricas destinadas à medição de parâmetros de plasma, denominado *Multi-Purpose Manipulator*.

Adicionalmente, os pesquisadores chineses (LI, YU, *et al.*, 2015) empregaram o DCS PlantPax, da Rockwell Automation, no desenvolvimento de um sistema de automação voltado a uma planta de fibra de *LyoCell*, no qual foi utilizado um conjunto completo de soluções da fabricante, incluindo inversores de frequência PowerFlex e o protocolo Ethernet/IP integrado ao sistema supervisório FactoryTalk na *Shandong Jianzhu University*.

Dessa forma, os exemplos apresentados da utilização da arquitetura DCS em instituições de ensino ao redor do mundo, reforçam sua ampla aplicabilidade, além de evidenciar a importância de promover uma maior abordagem desse tema nos cursos de engenharia voltados à indústria de processos no Brasil.

## 1.2 Objetivos

O objetivo deste trabalho é apresentar uma metodologia para a implementação de um projeto de engenharia voltado à arquitetura DCS em uma planta de processo simulada. Serão expostos os documentos de engenharia básicos, e a configuração de *hardware*, *software* e do sistema supervisório, com o propósito de fornecer uma abordagem equivalente a um cenário real, possibilitando sua reaplicação em uma aplicação física. De forma específica, os seguintes tópicos serão abordados ao longo do texto:

- Compreender o funcionamento referente de um DCS, assim como, a arquitetura, programação, controle PID (Proporcional, Integral e Derivativo) e parametrização do *hardware* e *software*;
- Descrever os documentos de engenharia básicos para um projeto industrial em uma planta de processo na arquitetura DCS;
- Realizar a configuração de telas e aquisição de dados no sistema supervisório a ser utilizado.

## 1.3 Organização do Trabalho

Este trabalho está estruturado conforme os seguintes capítulos:

- Capítulo 1: Apresenta uma introdução acerca do mercado de DCS no cenário mundial e uma revisão bibliográfica de sua utilização em outras universidades.
- Capítulo 2: Expõe a definição dos termos e características que serão utilizados ao longo do texto, fazendo referência às normas ISA aplicáveis à documentação de projetos de engenharia e apresentando alguns exemplos ilustrativos.
- Capítulo 3: Descreve a metodologia adotada para a elaboração deste trabalho, dividida em quatro subtópicos. Os dois primeiros tratam das ferramentas de simulação e controle da planta; o penúltimo aborda a integração completa do sistema; e o último detalha as variáveis consideradas na modelagem.
- Capítulo 4: Apresenta as parametrizações necessárias para assegurar o comportamento esperado da modelagem da planta.
- Capítulo 5: Expõe os resultados obtidos a partir da modelagem, em comunicação com o sistema de controle, e o funcionamento da planta simulada, da planta modelada e do sistema de supervisão desenvolvido.
- Capítulo 6: Apresenta as conclusões do trabalho e sugere propostas de continuidade relacionadas ao tema.

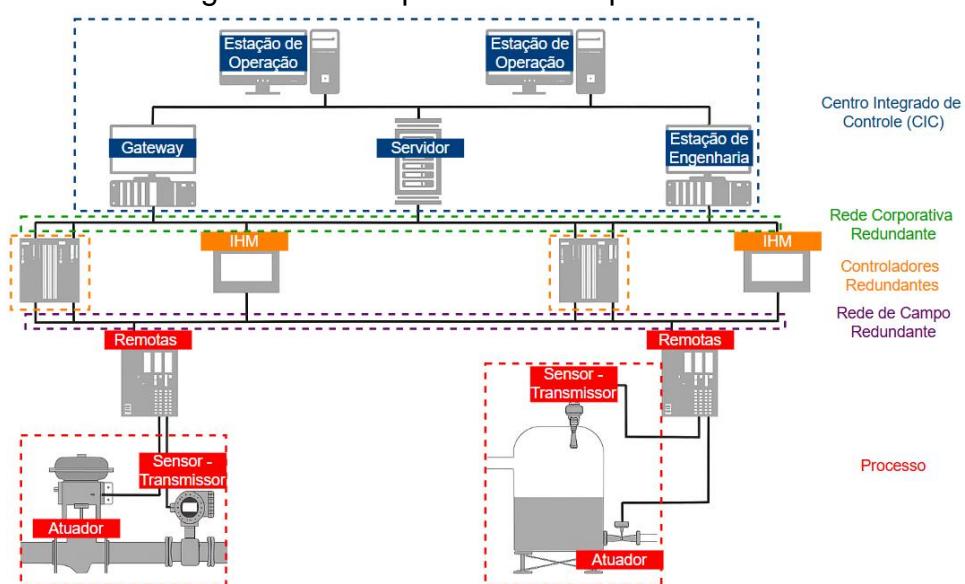
## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para a adequada compreensão do projeto proposto, torna-se indispensável a definição de alguns termos que servirão como fundamentação teórica, incluindo a arquitetura DCS, o sistema PCS7, as linguagens CFC (*Continuous Function Chart*), SFC (*Sequential Function Chart*) e SCL (*Structured Control Language*), e as normas específicas aplicadas à documentação de engenharia, essenciais para a padronização e a organização do processo.

### 2.1 Arquitetura DCS

A arquitetura DCS surgiu no final da década de 1970, desenvolvida pela Honeywell, sendo comumente utilizada em plantas geograficamente concentradas, nas quais os elementos de campo, como sensores e atuadores, encontram-se distribuídos ao longo de toda a instalação industrial e devem ser integrados em um único sistema de controle e monitoramento. Tal arquitetura possui capacidade para operar diversos controles avançados, com o propósito de assegurar maior confiabilidade ao processo no qual está inserida (POŞTOVEI, BULAC, *et al.*, 2020). Na Figura 2, é possível observar um exemplo de segmentação da arquitetura DCS, desde os dispositivos de campo até o sistema de supervisão.

Figura 2 - Exemplo de uma arquitetura DCS.



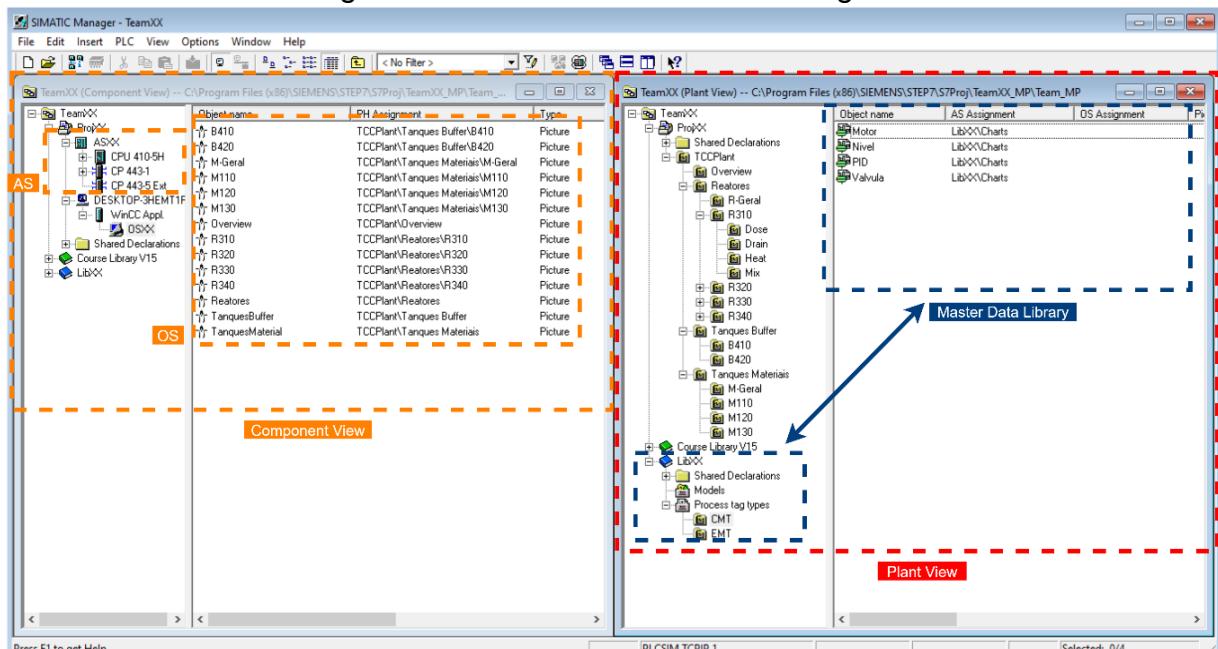
Fonte: Adaptado de (AGHAJANI, 2025).

Um DCS assegura características como: confiabilidade, ao possibilitar uma operação contínua e ininterrupta; redundância física e lógica; robustez, ao permitir a execução simultânea de diversos controles PID; arquitetura integrada com supervisão; e segurança operacional para o gerenciamento de alarmes e eventos (POSTOVEI, BULAC, *et al.*, 2020).

### 2.1.1 O sistema PCS7

O sistema PCS7 constitui um conjunto de soluções de engenharia da Siemens voltado a sistemas de controle de processos. Por meio dessa plataforma, é possível desenvolver um projeto em uma Estação de Engenharia (ES) utilizando o software SIMATIC Manager, que atua como o aplicativo central para criação do projeto. Nele são realizadas todas as etapas de configuração de *hardware*, programação nas linguagens (CFC, SFC e SCL) e parametrização da Estação de Operação (OS). Internamente, o ambiente é estruturado em *Component View*, *Plant View*, *Master Data Library* e *Process Object View*, e detalhado a seguir na Figura 3 (SIEMENS, 2022).

Figura 3 - Divisão do SIMATIC Manager.



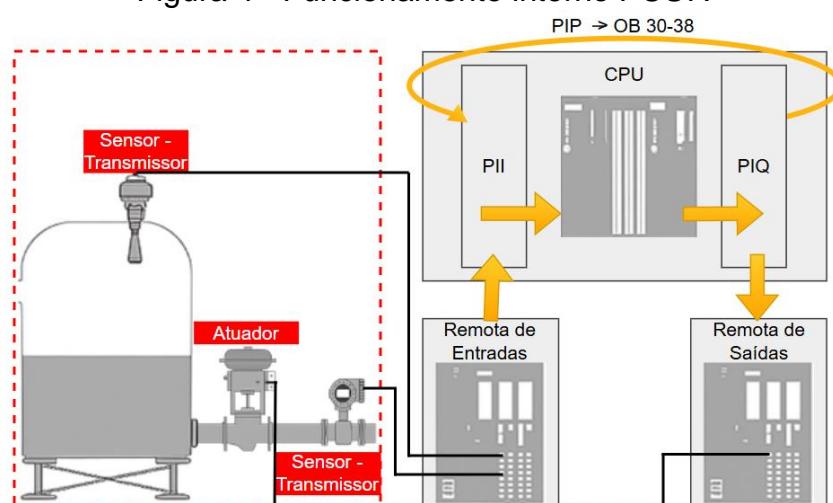
Fonte: (Próprio autor, 2025).

- **Component View:** responsável pela configuração de *hardware*, estação de automação (AS), e o sistema supervisório, estação de operação (OS);

- **Plant View:** lida com a hierarquia do projeto e lógica de programação;
- **Master Data Library:** referente ao conjunto de bibliotecas a serem utilizadas no projeto, nele é possível criar um *template* da lógica para motores, válvulas, PID, nível, etc. Esse padrão para CFC se torna um CMT (*Control Model Type*) e para SFC em EMT (*Equipment Model Type*) e é útil para atualizações futuras e migração para PCS7 Neo, versão web do sistema tradicional.
- **Process Object View:** acessado através do menu superior, em *View*, é responsável pela configuração das entradas e saídas E/S do sistema.

O funcionamento de um DCS difere internamente de um CLP, por não operar por meio de um ciclo de *scan* fixo, mas sim por eventos executados em intervalos previamente estabelecidos. No PCS7, a lógica segue o mesmo princípio: um sinal de entrada é enviado para um espaço de memória denominado *Process Image Input* (PII), é então processado pela CPU conforme a lógica implementada e, posteriormente, encaminhado a um espaço de memória de saída chamado *Process Image Output* (PIQ). Todo esse processo ocorre dentro de um intervalo específico denominado *Process Image Partition* (PIP), alocado em *Organization Blocks* (OB) reservados entre OB30 e OB38. Esses blocos correspondem a áreas onde entradas e saídas podem ser organizadas com um tempo de atualização específico, definido individualmente para cada OB em conjunto com sua respectiva PIP, conforme ilustrado Figura 4.

Figura 4 - Funcionamento interno PCS7.



Fonte: (Próprio autor, 2025).

O PCS 7 possui *hardware* robusto, e sua confiabilidade para operar e controlar, de forma ininterrupta, as diversas malhas de controle de uma planta de processo é assegurada por sua arquitetura redundante. Essa redundância está presente tanto na alimentação quanto no processamento, por meio de CPUs S7-400 primária e secundária. A alimentação de cada CPU é composta por fontes redundantes, assim como a comunicação de rede, que também apresenta redundância. Na Figura 5 é possível visualizar essa estrutura, e o *rack* completo encontra-se no **Apêndice A**.

Figura 5 - Exemplo de hardware do PCS7.

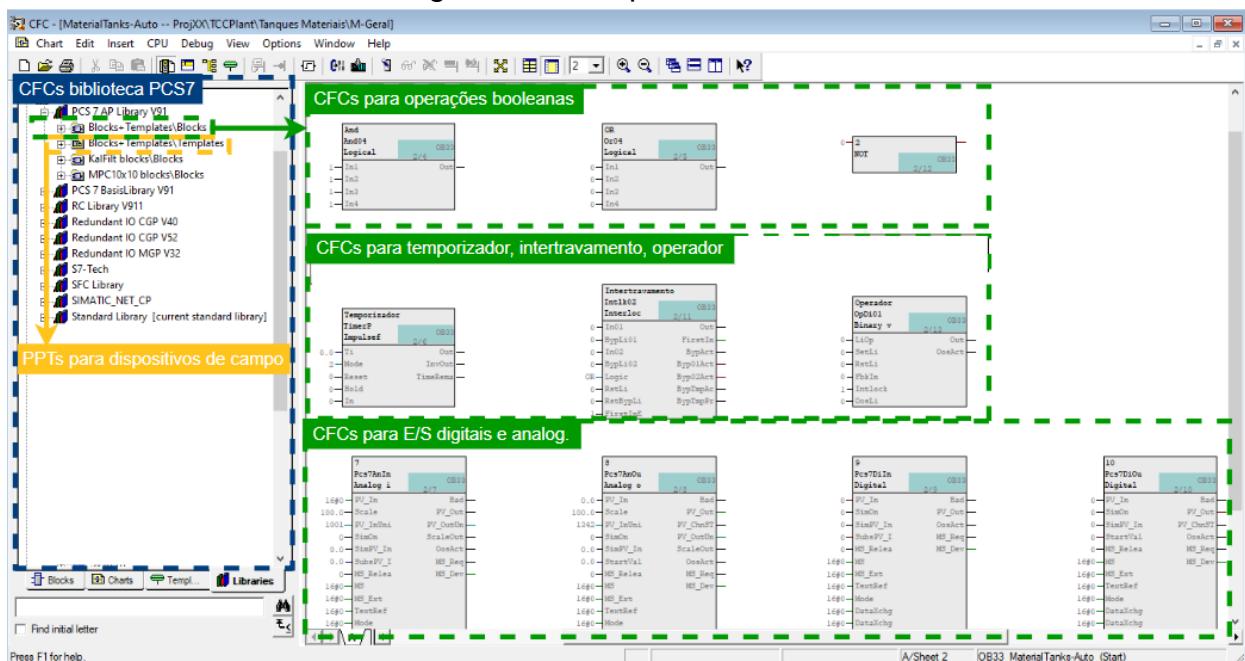


Fonte: (Próprio autor, 2025).

## 2.1.2 Linguagem CFC

Uma das opções de linguagens de programação utilizadas no PCS7 é uma linguagem gráfica similar ao FBD (*Function Block Diagram*) e presente em plataformas como o TIA Portal chamada CFC (*Continuous Function Chart*). A biblioteca PCS7 apresenta alguns blocos prontos em CFC, como: Diln, DiOut, AnIn, AnOut, PIDConL, VlvL, MotL e MonAnL; que, respectivamente, são usados para entrada digital, saída digital, entrada analógica, saída analógica, controle PID, válvula, motor e medição analógica (SIEMENS, 2022). A Figura 6 apresenta um exemplo de blocos em CFC.

Figura 6 - Exemplo de blocos CFC.



Fonte: (Próprio autor, 2025).

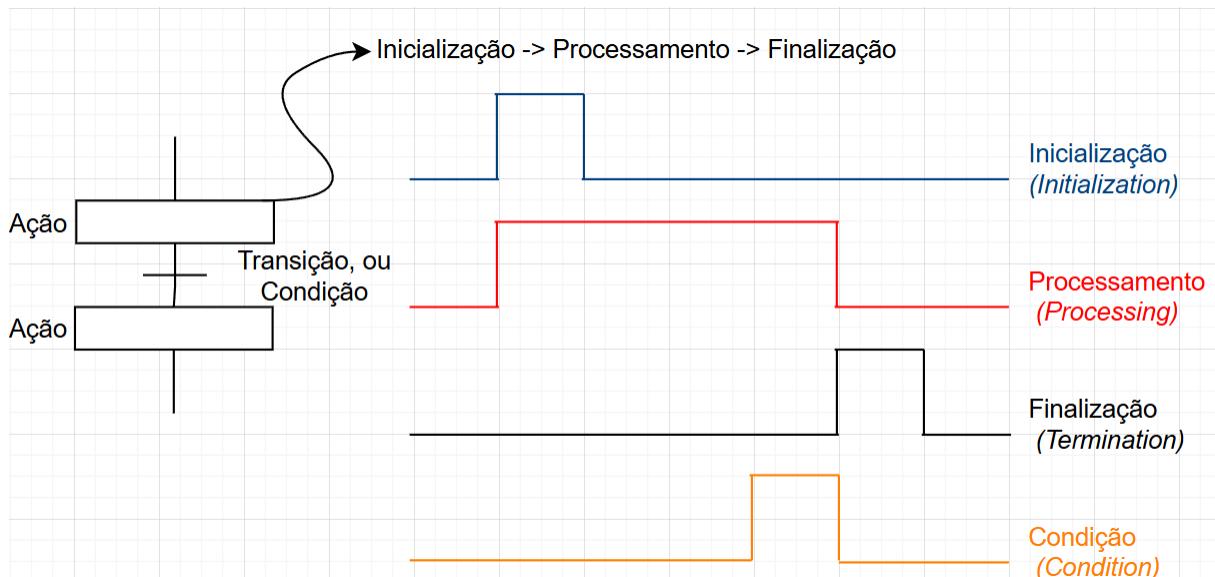
É recomendado que a criação de CFC seja padronizada, isso significa que novos blocos deverão ser criados dentro da *Master Data Library* se tornando um CMT (*Control Model Type*) (SIEMENS, 2022). A marcação em laranja indica a pasta destinada aos modelos de lógica dos dispositivos de campo construídos no antigo padrão PPT (*Process Tag Type*). Esse modelo encontra-se obsoleto e deve ser atualizado no projeto para o formato CMT, que corresponde aos *templates* de lógica utilizados para equipamentos como válvulas, motores, sensores e controladores PID.

### 2.1.3 Linguagem SFC

Outra opção de linguagem de programação utilizada no PCS7 é o SFC (*Sequential Function Chart*), empregado na implementação de sequências e semelhante ao Grafcet. Essa linguagem é composta por Passo, Transição (ou Condição) e Ação. Para que a condição que conduz à próxima etapa seja satisfeita, é necessário que o passo anterior tenha sido iniciado, processado e concluído (SIEMENS, 2022).

Cabe destacar que uma sequência permanece a maior parte do tempo na etapa de processamento; assim que essa etapa é concluída, considera-se que a condição foi executada e, então, ocorre a finalização. Um passo nunca será finalizado se a condição estiver posicionada após a etapa de finalização. Na Figura 7, apresenta-se o diagrama temporal do funcionamento do SFC.

Figura 7 - Funcionamento interno SFC.



Fonte: (Próprio autor, 2025).

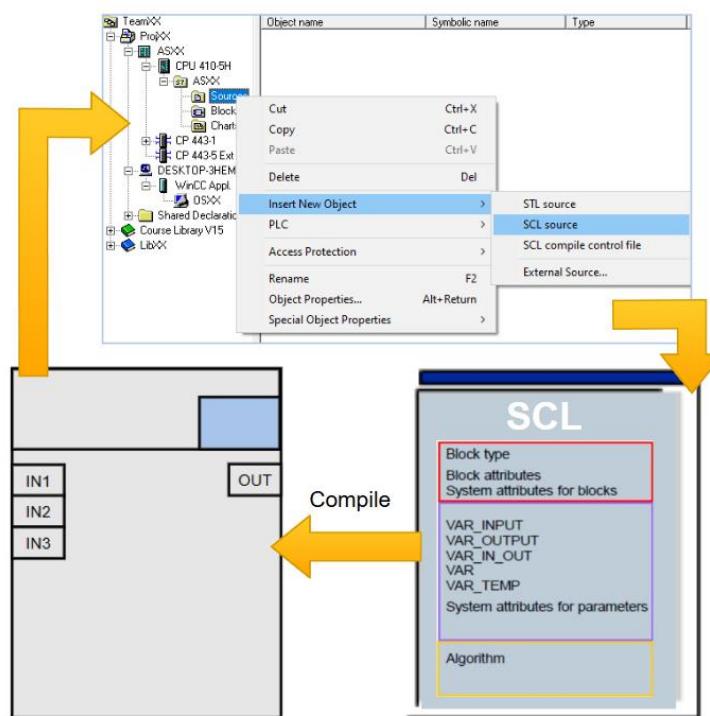
Existem dois tipos de SFC: o tradicional e o *Type*. O primeiro pode ser utilizado para um total de até oito sequenciadores, enquanto o segundo suporta até sessenta e quatro. O SFC *Type* também é empregado para a criação de *templates* de sequências com possibilidade de reaproveitamento; para isso, deve estar inserido na *Master Data Library*. Para criar um SFC tradicional, basta inseri-lo diretamente no *Plant View*, em alguma pasta da hierarquia.

Recomenda-se a utilização do SFC Type, que se torna um EMT (*Equipment Model Type*), visando facilitar futuras atualizações do sistema para o PCS7 Neo.

## 2.1.4 Linguagem SCL

O SCL (*Structured Control Language*) é uma linguagem de programação textual presente no PCS7, sendo que todos os blocos desenvolvidos são, internamente, escritos nessa linguagem. Dessa forma, é possível criar blocos CFC personalizados; contudo, tal prática não é recomendada, em razão dos riscos que uma construção inadequada de código pode acarretar ao sistema. Entre as instruções disponíveis, destacam-se IF, CASE, FOR, WHILE, REPEAT, CONTINUE, EXIT, GOTO e RETURN, que são estruturas lógicas utilizadas para definir como o programa se comporta, permitindo tomar decisões, repetir ações ou alterar o fluxo de execução de acordo com uma condição (SIEMENS, 2022). Na Figura 8, observa-se como o PCS7 interpreta internamente a linguagem SCL.

Figura 8 - Funcionamento interno SCL.



Fonte: (Próprio autor, 2025).

## 2.2 Documentos de engenharia

Para a adequada documentação de um projeto de engenharia, é recomendado observar procedimentos e normas que garantam a padronização das informações, de modo que os documentos produzidos possam ser facilmente interpretados posteriormente. Para isso, faz-se indispensável a adoção de um sistema de registro apropriado. Para a documentação deste trabalho, serão adotadas as seguintes normas da ISA: P&ID (ISA 5.1), Diagrama Lógico (ISA 5.2) e Diagrama de Malha (ISA 5.4).

### 2.2.1 P&ID: Norma ISA 5.1

Um P&ID (*Piping and Instrumentation Diagram*) refere-se a uma norma que representa a simbologia de sistemas de instrumentação industrial, estabelecendo uma forma padronizada de identificar dispositivos e suas respectivas funções. Cada equipamento é representado por uma *tag* de identificação composta por sufixos, um símbolo correspondente ao dispositivo e sua interligação com outros elementos (ISA, 2009).

Na Figura 9, é possível visualizar alguns dos símbolos utilizados na norma ISA 5.1, enquanto a tabela de nomenclatura dos dispositivos encontra-se no **Anexo A**.

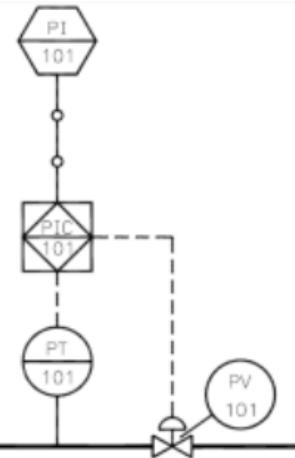
Figura 9 - Simbologia P&ID.

Sistema de Controle Primário: DCS	Sistema de Controle Secundário: CLP, SIS	Sistemas computarizados e software	Dispositivos discretos	Simbologia para ligações entre instrumentos
				<ul style="list-style-type: none"> <li>Conexão ao processo</li> <li>— - - - - Sinal elétrico (4 a 20mA, binário, etc)</li> <li>—○—○— Link lógico entre dispositivos e sistema de controle</li> <li>●—●—●— Link lógico entre sist. controle (CLP com CLP)</li> <li>◇ Intertravamento (TRIP), ação realizada pelo SIS</li> </ul>
				<ul style="list-style-type: none"> <li>- Localizado em campo;</li> <li>- Não fica no painel, gabinete ou console;</li> <li>- Visível no local de campo;</li> <li>- Normalmente acessível ao operador.</li> </ul>
				<ul style="list-style-type: none"> <li>- Localizado dentro ou na frente do painel central, principal ou console;</li> <li>- Visível na tela de vídeo ou IHM;</li> <li>- Normalmente acessível pelo operador na frente do painel ou console.</li> </ul>

Fonte: Adaptado de (ISA, 2009).

Um exemplo de diagrama P&ID pode ser observado na Figura 10. A primeira letra da *tag* refere-se à grandeza medida — neste caso, pressão — enquanto as letras subsequentes indicam a função do instrumento. Assim, têm-se: válvula de pressão (PV), transmissor de pressão (PT), controlador indicador de pressão (PIC) e indicador de pressão (PI), como exemplos.

Figura 10 - Exemplo P&ID.



Fonte: Adaptado de (ISA, 2009).

## 2.2.2 Diagrama Lógico: Norma ISA 5.2

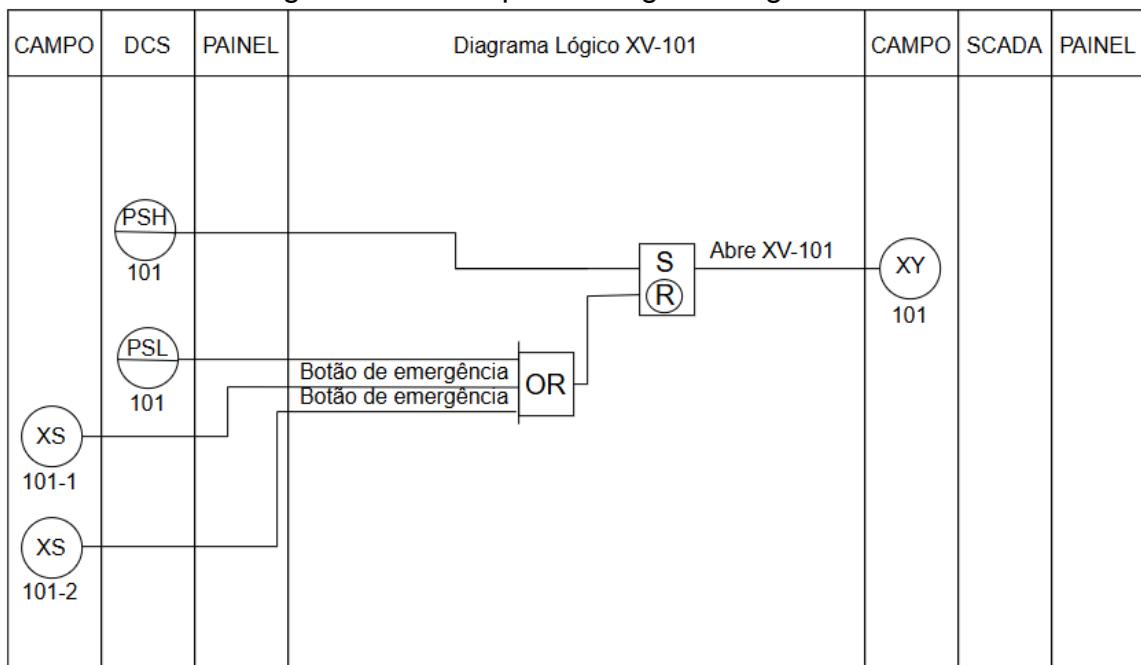
O diagrama lógico tem como objetivo fornecer um método para compreender a lógica e o sistema de intertravamento entre equipamentos, apresentando as sequências automáticas de parada, partida ou manobras operacionais específicas. Sua representação é composta por portas lógicas, conforme ilustrado na simbologia mostrada na Figura 11 e no exemplo apresentado na Figura 12 (ISA, 1992).

Figura 11 - Simbologia do diagrama lógico.

Função	Símbolo	Significado
Entrada		
Saída		
And		A saída lógica é 1 se todas as entradas forem 1
Or		A saída lógica é 1 se ao menos uma das entradas for 1
Comparação		Pode ser: =, ≠, >, ≥, <, ≤, ≥, <
Not		A saída lógica é 1 se a entrada for 0
Set/Reset		Se In1 e In2 forem 1, simultaneamente, o círculo define quem terá prioridade
Temporizador		Pode ser com retardo na energização (DI), desenergização (DT) ou pulso (PO)

Fonte: Adaptado de (ISA, 1992).

Figura 12 - Exemplo de diagrama lógico.



Fonte: (Próprio autor, 2025).

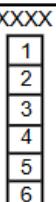
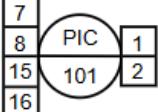
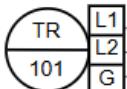
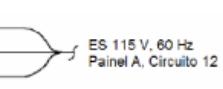
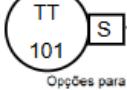
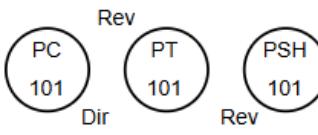
### 2.2.3 Diagrama de Malhas: Norma ISA 5.4

O propósito da norma ISA 5.4 é fornecer orientações para o projeto, a construção, a partida, a operação, a manutenção e a modificação de sistemas de

instrumentação, funcionando como uma extensão do P&ID. O diagrama de malha é especialmente adequado para aplicação em indústrias químicas, de petróleo, de geração de energia, entre outras. Esse diagrama apresenta a representação completa de uma malha de instrumentação, incluindo suas conexões elétricas e as tubulações associadas (ISA, 1991).

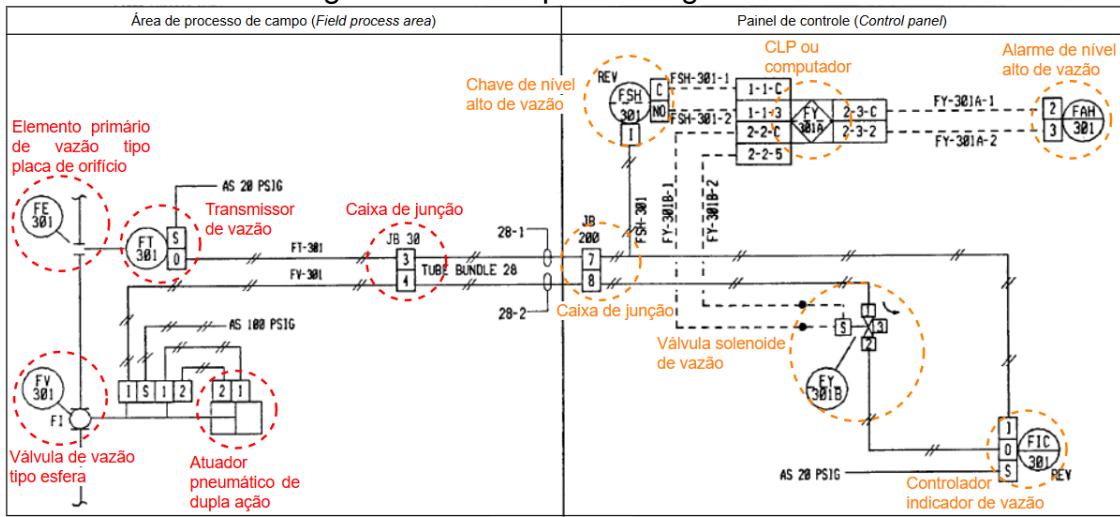
Na Figura 13 é possível visualizar a tabela de símbolos utilizados em um diagrama de malha, enquanto na Figura 14 é apresentado um exemplo.

Figura 13 - Simbologia do diagrama de malha.

Função	Símbolo	Significado
Terminal geral		XXXX: Identifica a caixa de junção ou conjunto de terminais. Já as letras indicam as conexões
Terminais ou portas do instrumento		Terminais do instrumento ou portas com letras de identificação. É sugerido que sejam designados de acordo com manual fabricante
Fonte de alimentação elétrica	  <p>ES 115 V, 60 Hz Painel A, Circuito 12</p>	Identifica a fonte de alimentação seguida pelo nível de alimentação apropriado e número do circuito de desligamento
Fonte de alimentação pneumática	 <p>Opções para AS - Air Supply; IA - Instrument Air PA - Pneumatic Air</p>	Identifica a alimentação de ar seguida pela pressão de suprimento de ar do instrumento
Fonte de alimentação hidráulica		Identifica a alimentação hidráulica seguida pela pressão de suprimento do fluido
Identificação da ação do instrumento		Mostra a direção do sinal do instrumento. A variável medida é representado por Rev. Como a maioria dos transmissores é de ação direta, se utiliza a designação Dir

Fonte: Adaptado de (ISA, 1991).

Figura 14 - Exemplo de diagrama de malha.

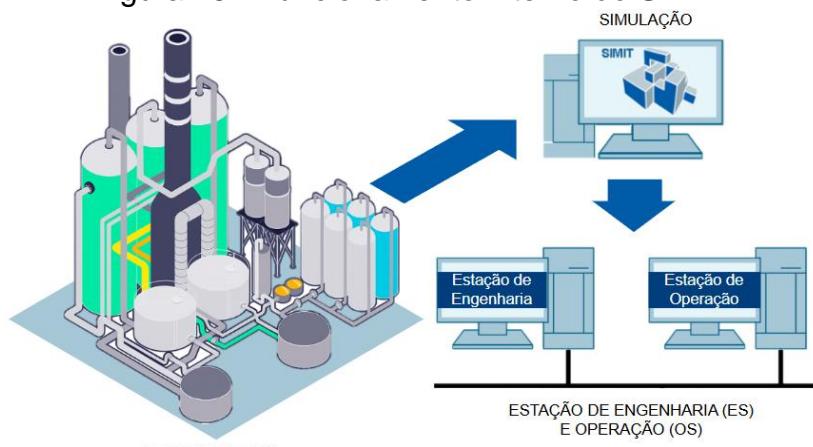


Fonte: Adaptado de (ISA, 1991).

## 2.3 SIMIT

O SIMIT é uma ferramenta de comissionamento virtual desenvolvida pela Siemens, cuja finalidade é gerar um modelo simulado de um processo real, conforme ilustrado na Figura 15. Sua capacidade de simulação em tempo real proporciona um ambiente seguro para testar diferentes cenários operacionais, permitindo a realização de novas parametrizações e otimizações sem riscos ao processo físico. Além disso, o SIMIT pode ser integrado ao sistema de controle, seja em arquiteturas baseadas em CLP ou DCS, por meio de protocolos de comunicação ou via servidor OPC (SIEMENS, 2022).

Figura 15 - Funcionamento interno do SIMIT.



Fonte: Adaptado de (SIEMENS, 2022).

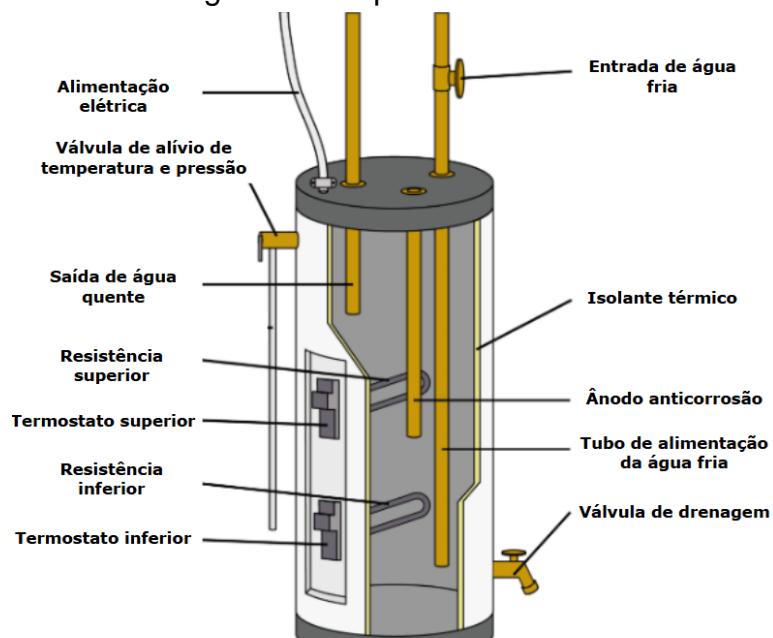
## 2.4 Aquecedor elétrico (*Electric Heater*)

Um aquecedor elétrico (*Electric Heater*) é um dispositivo utilizado para promover a transferência de energia térmica a um fluido por meio da conversão de energia elétrica em calor. Esse processo ocorre através de resistências elétricas inseridas diretamente no fluido ou acopladas ao reservatório. O equipamento pode operar com resistências superiores e inferiores (*Dual Heaters*), controladas por termostatos independentes, de modo a garantir maior eficiência e uma distribuição mais uniforme de calor no fluido (SEZAI, ALDABBAGH, *et al.*, 2005).

Diferentemente dos trocadores de calor tradicionais, nos quais ocorre interação térmica entre dois fluidos distintos — como etanol e etilenoglicol — para absorver ou dissipar energia térmica no sistema ao qual estão integrados (RAFID, AZAD, *et al.*, 2024), o aquecedor elétrico utiliza exclusivamente a energia elétrica como fonte primária de aquecimento. Para otimizar seu desempenho, pode-se empregar um processo de recirculação por meio de uma bomba centrífuga dedicada (BRAZEAU e EDWARDS, 2013).

Apesar dessas diferenças, ambos os dispositivos compartilham o mesmo princípio fundamental: promover a transferência de energia térmica ao fluido de interesse, conforme ilustrado na Figura 16.

Figura 16 - Aquecedor elétrico.



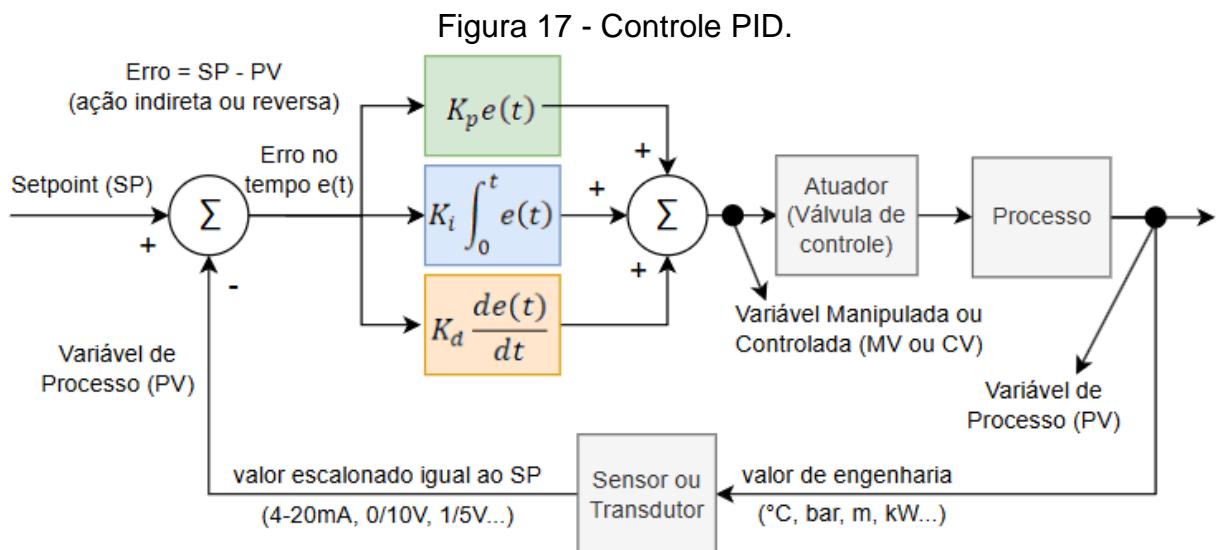
Fonte: Adaptado de (WEISCHWILL, 2025).

## 2.5 Controlador PID

O controle PID (Proporcional, Integral e Derivativo) é uma das técnicas mais difundidas na engenharia de controle de processos industriais. Ele atua por meio da combinação das ações proporcional, integral e derivativa aplicadas ao erro de controle, isto é, à diferença entre o valor de *setpoint* e a variável de processo. Sua ampla adoção na indústria decorre, em grande parte, da padronização bem-sucedida de sua forma eletrônica a partir da década de 1950 (BENEDICTO, BITTAR e MOURA, 2018).

Em termos operacionais, o controle inicia-se quando o operador define um *setpoint*. Esse valor é comparado ao sinal medido pelo sensor (variável de processo), resultando no erro. Sobre esse erro, o controlador aplica as ações P, I e D, produzindo um sinal de saída enviado ao elemento final de controle — geralmente uma válvula — que ajusta sua abertura ou fechamento (variável manipulada), influenciando diretamente o comportamento do processo. Além disso, os parâmetros integrativo e derivativo podem ser representados por  $T_i$  e  $T_d$ , respectivamente. Esses valores relacionam-se, sendo  $K_i = 1/T_i$  e  $K_d = T_d$  (IMD, 2025).

A Figura 17 ilustra, de forma esquemática, o funcionamento do controle PID em um cenário industrial típico.



Fonte: (Próprio autor, 2025).

O controle PID pode operar com ação direta ou reversa. Na ação direta, caracterizada pela relação  $(PV - SP)$ , o aumento da variável de processo (PV) provoca

o aumento da variável manipulada (MV), como ocorre no controle da saída de um tanque, em que a elevação do nível resulta na abertura da válvula de drenagem. Já na ação reversa, associada à relação (SP – PV), o aumento da variável de processo leva à redução da variável manipulada, como no controle da entrada de um tanque, em que o aumento do nível faz com que a válvula de alimentação se feche (COLOGNI, 2008).

### 3 METODOLOGIA

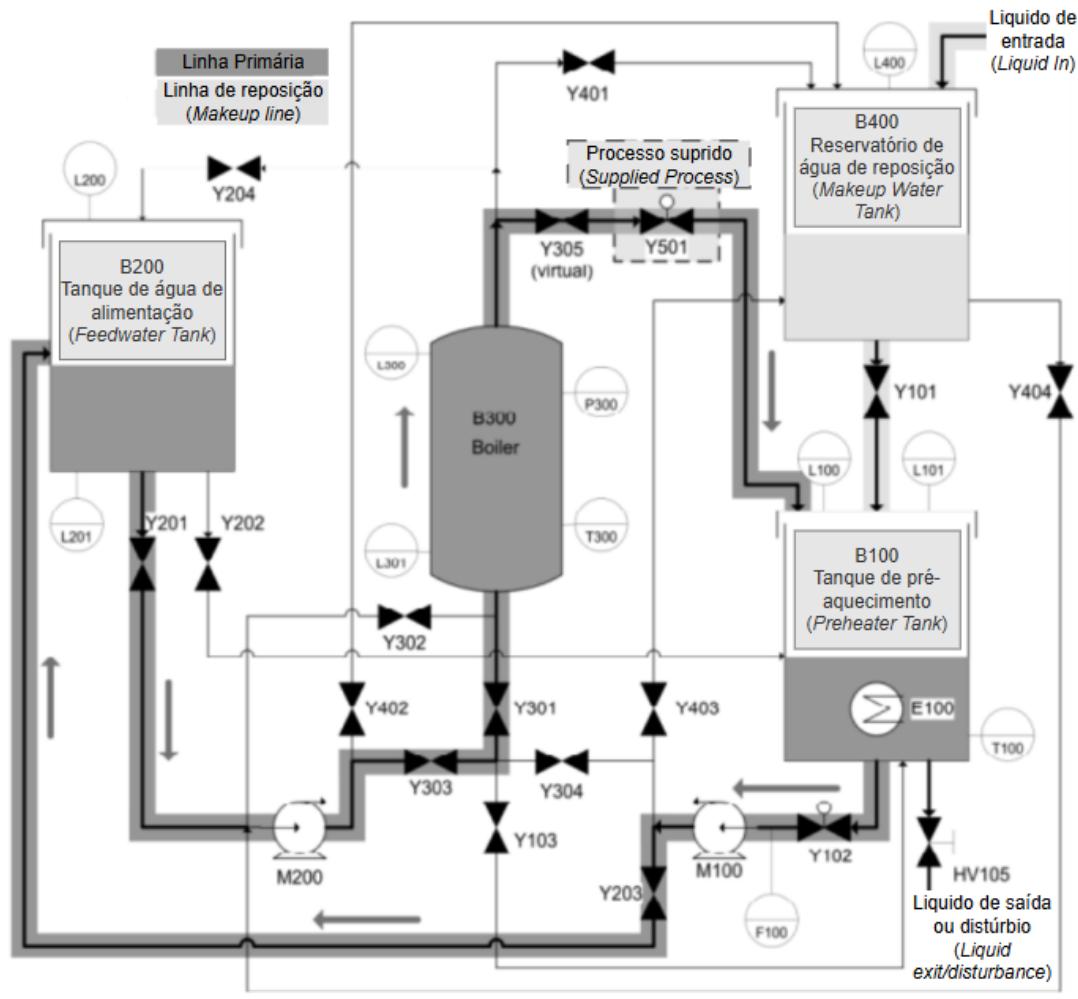
Este capítulo apresenta, de maneira sistemática, o processo de integração entre o DCS PCS7, da fabricante Siemens, e a plataforma de simulação SIMIT, utilizando o software PLCSim para emulação do *hardware*. Inicialmente, são descritas as etapas de configuração do ambiente de simulação, implementado em uma máquina virtual hospedada na ferramenta VMware Workstation, detalhando-se as parametrizações essenciais para o desenvolvimento do projeto, bem como suas limitações operacionais.

Na sequência, o capítulo aprofunda-se na modelagem de um processo de troca de calor no SIMIT e na definição da lógica de controle no PCS7, assegurando a comunicação entre os sistemas. Por fim, aborda-se a construção das interfaces de operação e monitoramento, fundamentais para a análise do desempenho do controle proposto.

#### 3.1 Modelo da planta

A planta desenvolvida neste trabalho será baseada em um processo de aquecimento de água (*Water Heating Process*). Os autores (SANTILLÁN, NIEMISTÖ e KARHELA, 2015) propuseram uma planta em pequena escala de uma estação de aquecimento de água, na qual o fluido pode ser aquecido, circulado e pressurizado antes de ser enviado ao consumidor. Posteriormente, esse sistema foi implementado em um software de simulação denominado Apros (PORKHOLM, KANTEE e TIIHONEN, 2000). A Figura 18 apresenta a planta proposta pelos autores mencionados.

Figura 18 - Modelo da planta original.

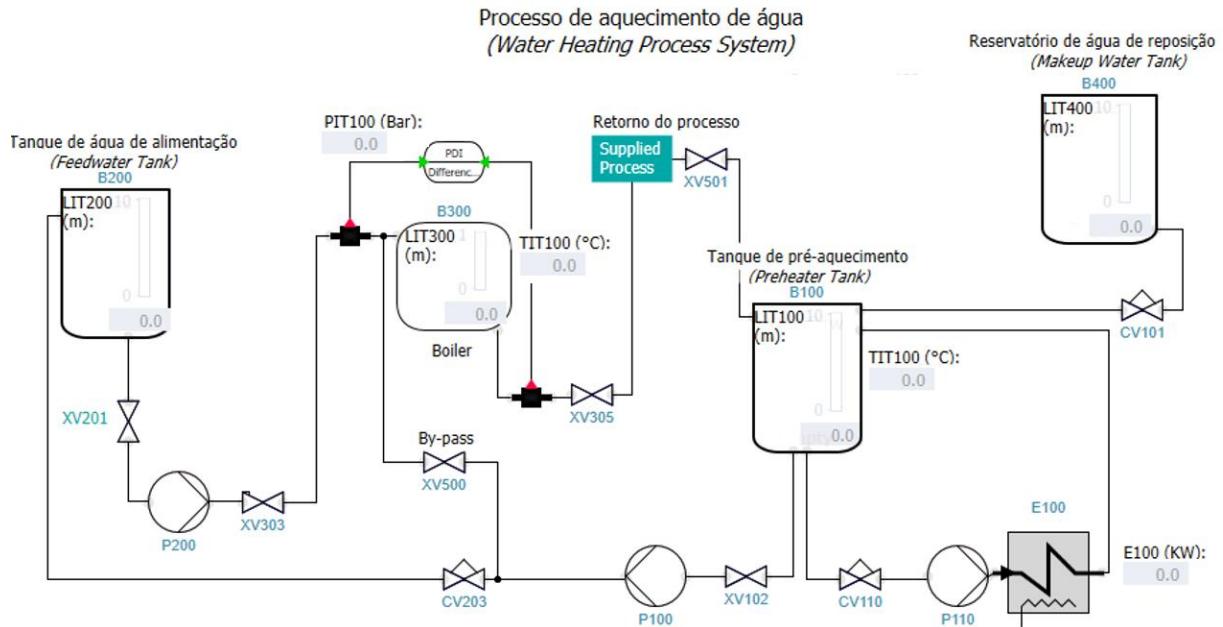


Fonte: Adaptado de (SANTILLÁN, NIEMISTÖ e KARHELA, 2015).

Neste trabalho, a planta a ser desenvolvida constitui uma derivação do sistema apresentado por (SANTILLÁN, NIEMISTÖ e KARHELA, 2015). No modelo original, o aquecedor encontra-se instalado no interior do tanque B100; entretanto, no processo de pré-aquecimento proposto neste estudo será utilizado um aquecedor elétrico (*Heater Electric*), que atuará como trocador de calor. Esse dispositivo realizará a recirculação contínua da água de volta ao tanque B100 e, após o atingimento do *setpoint* desejado, o fluido será novamente bombeado, porém por meio da tubulação de drenagem, direcionando-se ao tanque B200.

Para simplificação, a linha de reposição (*Makeup Line*), será suprimida, mantendo-se apenas uma tubulação de *by-pass* manual entre o tanque B100 e o boiler B300. A Figura 19 apresenta o modelo da planta adotado neste trabalho.

Figura 19 - Modelo da planta adotado neste trabalho.



Fonte: (Próprio autor, 2025).

### 3.2 Estrutura da arquitetura de simulação

A construção de um sistema de simulação que integra um DCS exige atenção a diversos detalhes técnicos. Com o propósito de facilitar a compreensão do leitor e possibilitar a replicação deste trabalho no futuro, recomenda-se seguir, de forma sequencial, as etapas de parametrização apresentadas a seguir.

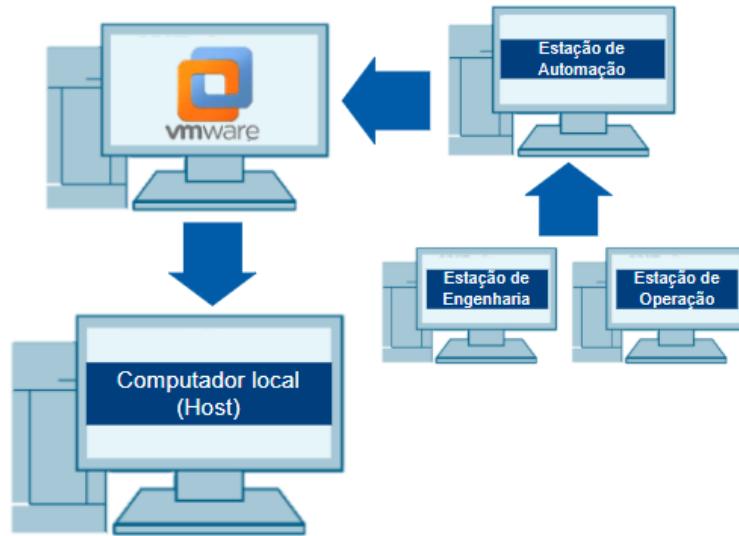
#### 3.2.1 Ambiente de virtualização

A implementação de um sistema DCS requer um conjunto de parametrizações que envolvem tanto a estação de operação (OS) quanto a estação de engenharia (ES), abrangendo componentes de *hardware* e *software*. No contexto deste trabalho, e com o propósito de facilitar a integração entre OS e ES, optou-se por unificá-las em uma única estação, denominada estação de automação (AS).

O ambiente experimental foi inteiramente desenvolvido na plataforma de virtualização VMware Workstation, conforme ilustrado na Figura 20, uma vez que esta ferramenta permite a criação de máquinas virtuais independentes, garantindo maior

robustez na gestão dos recursos computacionais, além de assegurar a replicabilidade do experimento por meio do uso de *snapshots* e *backups*.

Figura 20 - Arquitetura de virtualização da estação de automação.



Fonte: (Próprio autor, 2025).

Embora a unificação da OS e ES em uma única plataforma não seja uma prática recomendada, sobretudo por questões relacionadas à segurança — uma vez que não é desejável que o operador tenha acesso direto ao ambiente de edição e parametrização do sistema —, tal abordagem mostrou-se pertinente para este projeto. Essa configuração simplificada favoreceu a integração entre os sistemas, bem como a troca de dados entre as entradas e saídas do processo, o sistema de supervisão WinCC e a ferramenta de simulação SIMIT.

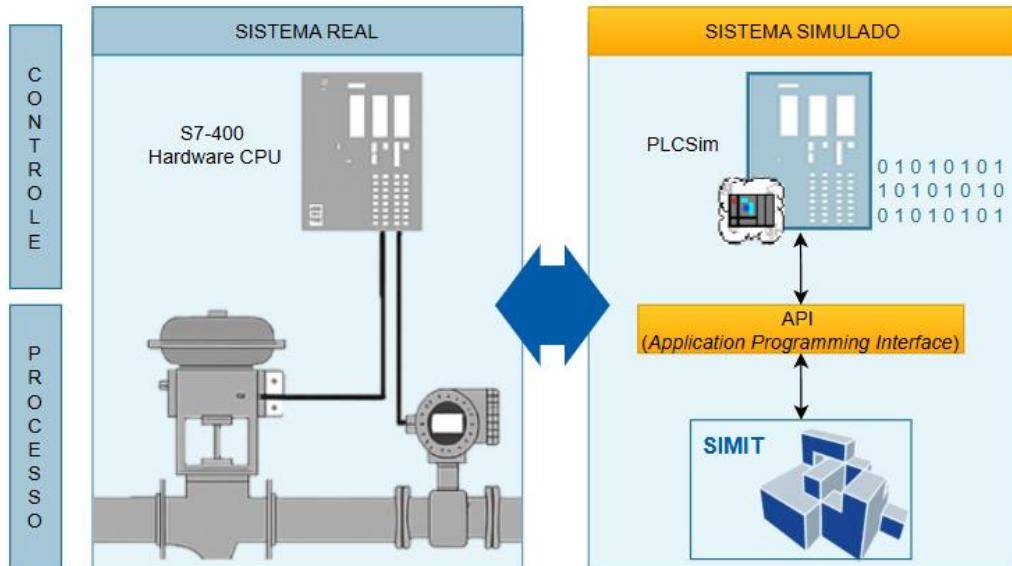
Para a implementação do ambiente, empregou-se a plataforma de virtualização VMware Workstation, versão 17.0. O sistema DCS adotado foi o PCS7, versão 9.1 SP1 (Service Pack 1), o qual já inclui o sistema supervisório WinCC integrado.

### 3.2.2 Simulação da CPU

Considerando a ausência de controladores físicos, o presente estudo faz uso do PLCSim, ferramenta destinada à simulação do comportamento de controladores programáveis — neste caso, da CPU S7-400. O PLCSim atua como elemento intermediário entre o DCS e o ambiente de simulação no SIMIT, viabilizando a execução de testes de comunicação, lógica de controle, intertravamentos e respostas

a eventos de processo em condições análogas às de um sistema real. A Figura 21 ilustra a distinção entre um sistema físico e sua correspondente representação simulada por meio das ferramentas utilizadas.

Figura 21 - Ambiente de simulação da CPU.



Fonte: (Próprio autor, 2025).

### 3.2.3 Integração com SIMIT

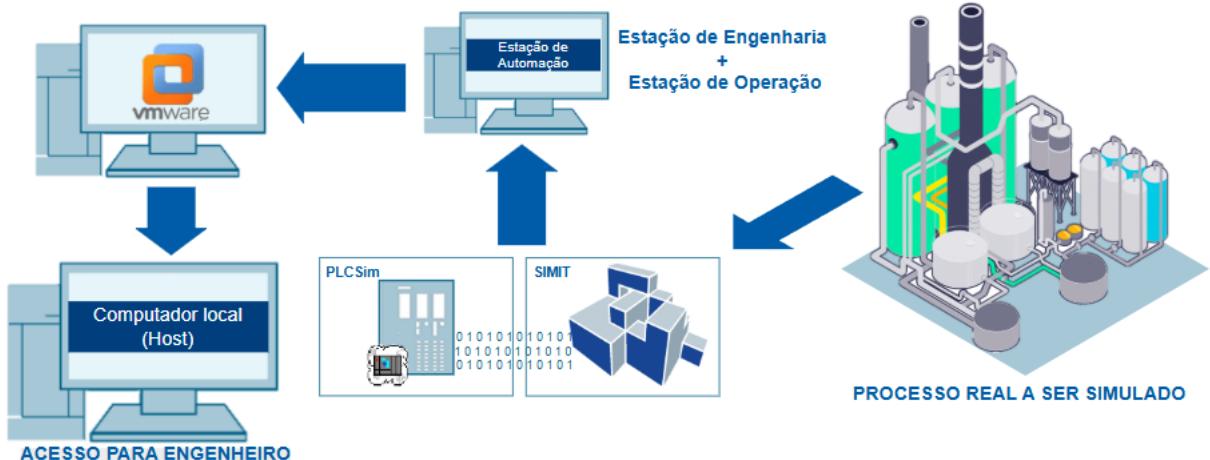
Até este ponto, considera-se já estabelecida a estrutura da estação de automação, hospedada em uma máquina virtual no VMware Workstation, bem como a emulação do *hardware* da CPU S7-400 por meio do *software* PLCSim. Contudo, para a obtenção dos valores correspondentes às entradas e saídas, diante da inexistência de uma planta real, tornou-se necessário recorrer à ferramenta de comissionamento virtual SIMIT, versão 11.3 SP1. Esse simulador foi configurado para disponibilizar todos os pontos de supervisão e controle requeridos, os quais serão integrados à estrutura do DCS.

O SIMIT possibilita a criação de cenários operacionais realistas, incluindo perturbações de processo e condições de falha, permitindo avaliar a robustez e a confiabilidade da estratégia de controle proposta.

Anteriormente, a Figura 20 apresentou a arquitetura de virtualização, enquanto a Figura 21 ilustrou como o PLCSim interpreta a emulação do *hardware* da CPU. Ao

combinar ambas as estruturas, obtém-se uma arquitetura completa, conforme demonstrado na Figura 22.

Figura 22 - Arquitetura completa do sistema.



Fonte: (Próprio autor, 2025).

A adoção da integração entre PCS7, SIMIT e PLCSim em ambiente virtualizado justifica-se por sua aderência às práticas contemporâneas da Indústria 4.0, especialmente no âmbito do comissionamento virtual. Essa metodologia oferece vantagens significativas, como a redução de custos e dos riscos associados ao uso de *hardware* físico, a possibilidade de repetição controlada de experimentos, a flexibilidade para a construção de cenários de teste e a viabilidade de validação antecipada das estratégias de controle. Além disso, a implementação em ambiente virtual contribui para a replicabilidade e para a generalização dos resultados obtidos, assegurando maior rigor científico ao estudo.

### 3.2.4 Descrição dos dados trocados entre os sistemas

Neste tópico, serão apresentadas as variáveis que serão requisitadas pelo PCS7 ao SIMIT para o sistema desenvolvido. Os dados estão divididos em três principais grupos: atuadores, sensores e *feedbacks*.

- Atuadores:** Esses elementos correspondem às bombas e às válvulas proporcionais, ou de controle, presentes na planta. Especificamente neste trabalho, tratam-se das válvulas que receberão o valor escalonado da

variável manipulada (MV), expresso em porcentagem de 0 a 100%. A Tabela 1 apresenta os atuadores que serão utilizados.

Tabela 1 – Atuadores.

Descrição	Tag	Endereço lógico
Feedback ligado da bomba de recirculação do tanque B100	P110_Fdb_O	I 0.0
Feedback fechado da válvula	XV102_Fdb_C	I 0.1
Feedback aberto da válvula	XV102_Fdb_O	I 0.2
Feedback ligado da bomba de drenagem do tanque B100	P100_Fdb_O	I 0.3
Feedback fechado da válvula	XV201_Fdb_C	I 0.4
Feedback aberto da válvula	XV201_Fdb_O	I 0.5
Feedback ligado da bomba de drenagem do tanque B200	P200_Fdb_O	I 0.6
Feedback fechado da válvula	XV303_Fdb_C	I 0.7
Feedback aberto da válvula	XV303_Fdb_O	I 1.0
Feedback fechado da válvula	XV305_Fdb_C	I 1.1
Feedback aberto da válvula	XV305_Fdb_O	I 1.2
Feedback aberto/fechado da válvula	CV110_Fdb_O_C	I 1.3
Feedback aberto/fechado da válvula	CV101_Fdb_O_C	I 1.5
Feedback aberto/fechado da válvula	CV203_Fdb_O_C	I 1.6
Feedback de posição da válvula CV101	CV101_Fdb	IW 512
Feedback de posição da válvula CV203	CV203_Fdb	IW 514
Feedback de posição da válvula CV110	CV110_Fdb	IW 605
Valor de retorno da potência (kW) do Heater	E100_Fdb	IW 603

Fonte: (Próprio autor, 2025).

2. **Sensores:** Esses elementos representam a variável de processo (PV) e transmitem o valor em engenharia obtido do processo em um sinal escalonado — neste trabalho, uma tensão de 1 a 5 V. A planta a ser desenvolvida contará com três tipos de sensores: sensor de nível (metros), sensor de temperatura (°C) e sensor de pressão (bar). Observe a Tabela 2 com a lista desses equipamentos.

Tabela 2 – Sensores.

Descrição	Tag	Endereço lógico
Nível do tanque B100	LIT400	IW 516
Nível do tanque B100	LIT100	IW 518
Temperatura do tanque B100	TIT100	IW 520
Nível do tanque B200	LIT200	IW 522
Pressão do tanque B300	PIT300	IW 524
Nível do tanque B300	LIT300	IW 526
Temperatura do tanque B300	TIT300	IW 601

Fonte: (Próprio autor, 2025).

3. **Feedbacks:** Esses elementos representam o valor de retorno de posição, no caso das válvulas; o status de ligado ou desligado, no caso das bombas; e o valor de retorno da potência do aquecedor elétrico. A partir desses dados, o processo verifica se o comando enviado ao atuador foi efetivamente executado e, caso contrário, são acionados os intertravamentos correspondentes na lógica de controle. A Tabela 3 apresenta a lista de *feedbacks* a serem implementados no sistema.

Tabela 3 – *Feedbacks*.

Descrição	Tag	Endereço lógico
Comando para bomba P110	P110_Cmd	P110_Cmd
Comando para válvula XV102	XV102_Cmd	XV102_Cmd
Comando para bomba P100	P100_Cmd	P100_Cmd
Comando para válvula XV201	XV201_Cmd	XV201_Cmd
Comando para bomba P200	P200_Cmd	P200_Cmd
Comando para válvula XV303	XV303_Cmd	XV303_Cmd
Comando para válvula XV305	XV305_Cmd	XV305_Cmd
Comando para <i>Heater</i> E100	E100_Cmd	E100_Cmd
Comando de posição para válvula CV110	CV110_Cmd	CV110_Cmd
Comando de posição para válvula CV101	CV101_Cmd	CV101_Cmd
Comando de posição para válvula CV203	CV203_Cmd	CV203_Cmd
Valor de potência (kW) para <i>Heater</i>	E100_Value	E100_Value

Fonte: (Próprio autor, 2025).

## 4 INTEGRAÇÃO ENTRE PCS7 E SIMIT

Neste capítulo, será apresentada a configuração necessária para a construção da planta referente ao sistema de aquecimento de água, ilustrado na Figura 19, a sua parametrização na ferramenta de engenharia SIMIT, o controle por meio do DCS PCS7 e a supervisão do processo no sistema supervisório WinCC. Além disso, serão disponibilizados, nos apêndices deste trabalho, os documentos do projeto de engenharia elaborados conforme as normas ISA 5.1, 5.2 e 5.4.

### 4.1 Configuração do SIMIT

A construção da modelagem da planta deve seguir uma sequência de etapas cuidadosamente executadas. É nessa ferramenta simulação que o sistema DCS passará a receber os valores provenientes dos sensores e *feedbacks*, bem como enviará os comandos destinados aos atuadores, como se estivessem em uma planta de processo real.

#### 4.1.1 Importação das tags e escalonamento

O SIMIT requer que todas as *tags* a serem utilizadas no modelo já estejam previamente criadas — no caso deste trabalho, no SIMATIC Manager — para que, posteriormente, possam ser exportadas e importadas para a ferramenta. Essas *tags*, previamente apresentadas na Tabela 1, Tabela 2 e Tabela 3, devem ser configuradas no *Symbol Table* do SIMATIC Manager de acordo com seus respectivos tipos, pois constituem a base de comunicação entre as entradas e saídas das plataformas envolvidas. O procedimento para exportação da *Symbol Table* pode ser observado na Figura 23.

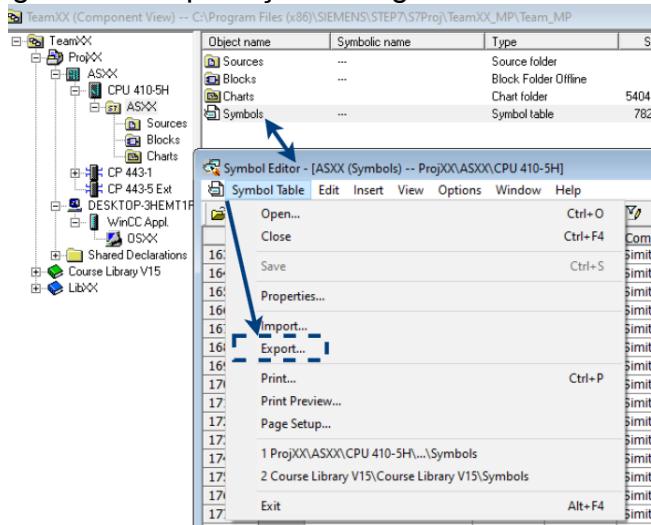
A classificação dos endereços, de acordo com respectivos tipos de sinal, segue a seguinte estrutura:

1. **Atuadores:** correspondem às saídas digitais e analógicas, utilizadas para o controle de válvulas proporcionais. Seus endereços são,

respectivamente, Q ou QW, seguidos pelo bit ou byte correspondente (no caso de QW, cada palavra ocupa 2 bytes).

2. **Sensores:** correspondem às entradas analógicas, com endereçamento definido por IW, seguido do byte correspondente utilizado.
3. **Feedbacks:** consistem em entradas analógicas ou digitais, com endereçamento definido por I (digital) ou IW (analogica).

Figura 23 - Exportação de tags no SIMATIC Manager.



Fonte: (Próprio autor, 2025).

Para que as entradas e saídas sejam corretamente interpretadas pelo PCS7, é necessário observar o escalonamento requerido para cada variável analógica. A Figura 24 ilustra a parametrização adotada.

Figura 24 - Escalonamento das E/S.

Inputs							
Default	Symbol name	Address	Data type	Comment	Scaling	Lower	Upper
	CV203_Fdb_O_C	I1.6	BOOL	Simit - Feedback Open/Closed da valvula			
0.0	CV101_Fdb	IW512	WORD	Simit - Feedback de posicao da valvula CV...	Unipolar	0	100
0.0	CV203_Fdb	IW514	WORD	Simit - Feedback de posicao da valvula CV...	Unipolar	0	100
0.0	LIT400	IW516	WORD	Simit - Nivel do tanque B100	User defined	0	10
0.0	LIT100	IW518	WORD	Simit - Nivel do tanque B100	User defined	0	10
0.0	TIT100	IW520	WORD	Simit - Temperatura do tanque B100	Unipolar	0	100
0.0	LIT200	IW522	WORD	Simit - Nivel do tanque B200	User defined	0	10
0.0	PIT300	IW524	WORD	Simit - Pressao do tanque B300	User defined	0	1
0.0	LIT300	IW526	WORD	Simit - Nivel do tanque B300	User defined	0	1
0.0	TIT300	IW601	WORD	Simit - Temperatura do tanque B300	Unipolar	0	100
0.0	E100_Fdb	IW603	WORD	Simit - Valor de retorno da potencia (kW)...	Unipolar	0	100
0.0	CV110_Fdb	IW605	WORD	Simit - Feedback de posicao da valvula CV...	Unipolar	0	100

Outputs						
Symbol name	Address	Data type	Comment	Scaling	Lower	Upper
CV110_Cmd	QW512	WORD	Simit - Cmd de posicao para valvula CV110	Unipolar	0	100
CV101_Cmd	QW514	WORD	Simit - Cmd de posicao para valvula CV101	Unipolar	0	100
CV203_Cmd	QW516	WORD	Simit - Cmd de posicao para valvula CV203	User defined	0	100

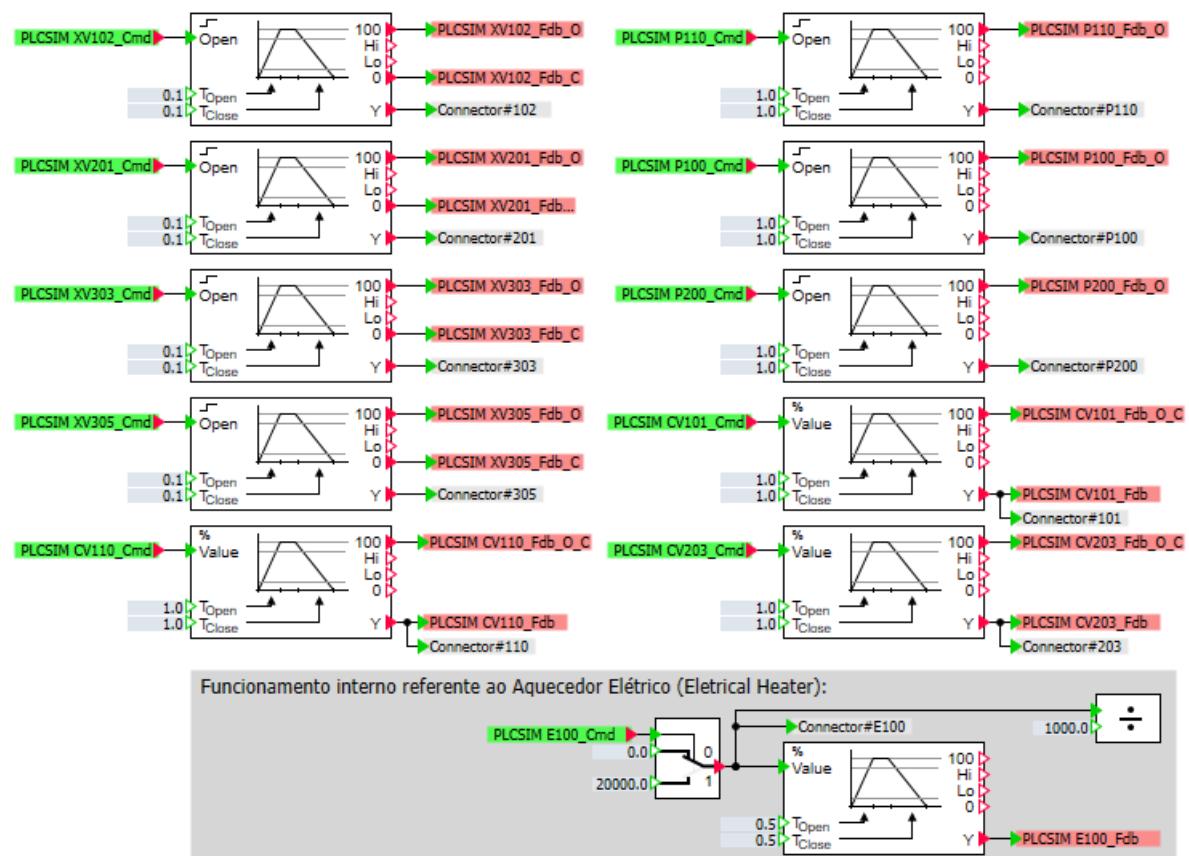
Fonte: (Próprio autor, 2025).

#### 4.1.2 Parametrização das rampas de operação dos equipamentos

Para cada válvula, seja on-off ou de controle, e para cada bomba, é necessário definir uma rampa de operação a ser seguida. O tempo de abertura foi considerado 0,1 s para válvulas on-off e 1 s para válvulas de controle, enquanto as bombas demandam até 1 s para ligar ou desligar completamente.

O comportamento do aquecedor elétrico segue a configuração apresentada na Figura 25. Nesse caso, o comando da tag E100\_Cmd aciona um interruptor que varia a potência entre 0 e 20 kW, correspondente à potência nominal do equipamento, com tempo de acionamento e desligamento de até 0,5 s. A tag E100\_Fdb retorna o valor da potência efetivamente fornecida à carga.

Figura 25 - Rampa de operação dos equipamentos.



Fonte: (Próprio autor, 2025).

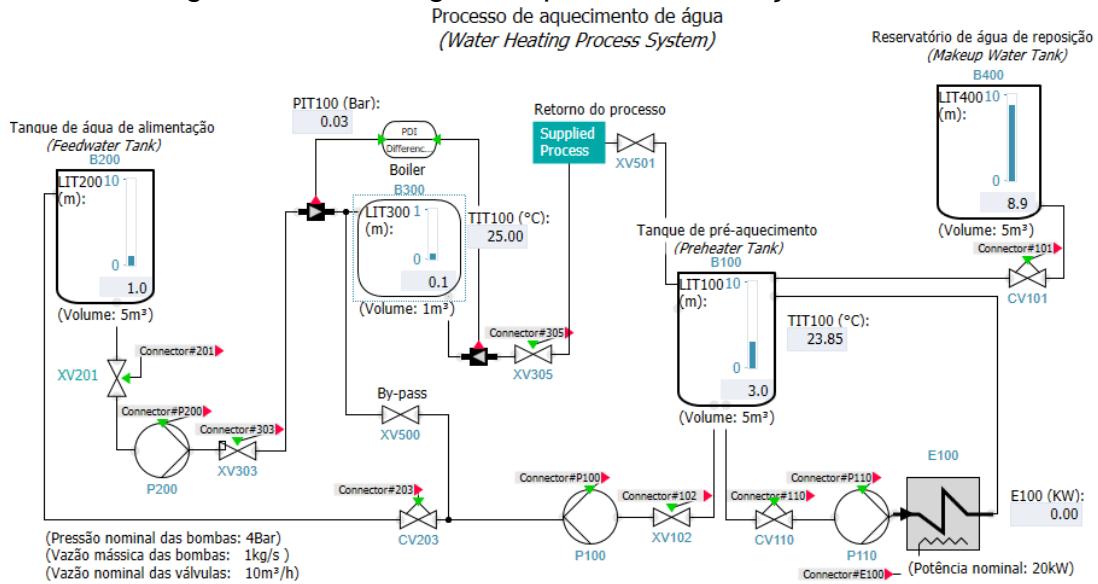
#### 4.1.3 Modelagem da planta

Ao iniciar a modelagem da planta, esta parte com valores padrão definidos pelo software, bem como alguns parâmetros configurados pelo engenheiro. Entre os valores padrão, destacam-se: a pressão nominal da bomba, de 4 bar; a vazão mássica nominal da bomba, de 1 kg/s; e a vazão nominal das válvulas, de 10 m<sup>3</sup>/h.

1. **Volume:** para os tanques B400, B100 e B200, o volume configurado foi de 5 m<sup>3</sup>, enquanto para o boiler B300 foi de 1 m<sup>3</sup>. Esses volumes foram determinados com o objetivo de tornar o processo mais ágil durante a simulação.
2. **Temperatura:** Para os tanques B400, B100 e B200, a temperatura configurada foi de 23,85 °C, enquanto para o boiler B300 foi definida em 25 °C. A temperatura de 25 °C foi adotada com base nas Condições Padrão de Temperatura e Pressão Ambientais (CPTPA), enquanto os demais valores diferem ligeiramente para criar uma situação de queda de temperatura no sistema.
3. **Nível:** Com o objetivo de agilizar o processo de modelagem, os níveis dos tanques foram definidos como 10% do volume total, com exceção do tanque B400, que foi configurado em 89%.

A justificativa para iniciar a simulação com valores pré-configurados, conforme ilustrado na Figura 26, deve-se à limitação da versão *demo* (demonstrativa) do SIMIT utilizada neste trabalho, que permite execução por, no máximo, 45 minutos.

Figura 26 - Modelagem da planta em condições iniciais.



Fonte: (Próprio autor, 2025).

## 4.2 Configuração do PCS7

A partir da modelagem da planta já realizada no SIMIT, é possível realizar o controle e a operação tanto em modo automático, por meio de uma sequência lógica construída tanto em SFC, quanto em modo manual. Toda a estrutura de lógica em CFC para os equipamentos é baseada na biblioteca interna do PCS7, AP Library V9.1. A configuração de *hardware* será apresentada no subtópico seguinte, enquanto o P&ID da planta, conforme a norma ISA 5.1, encontra-se disponível no **Apêndice B**.

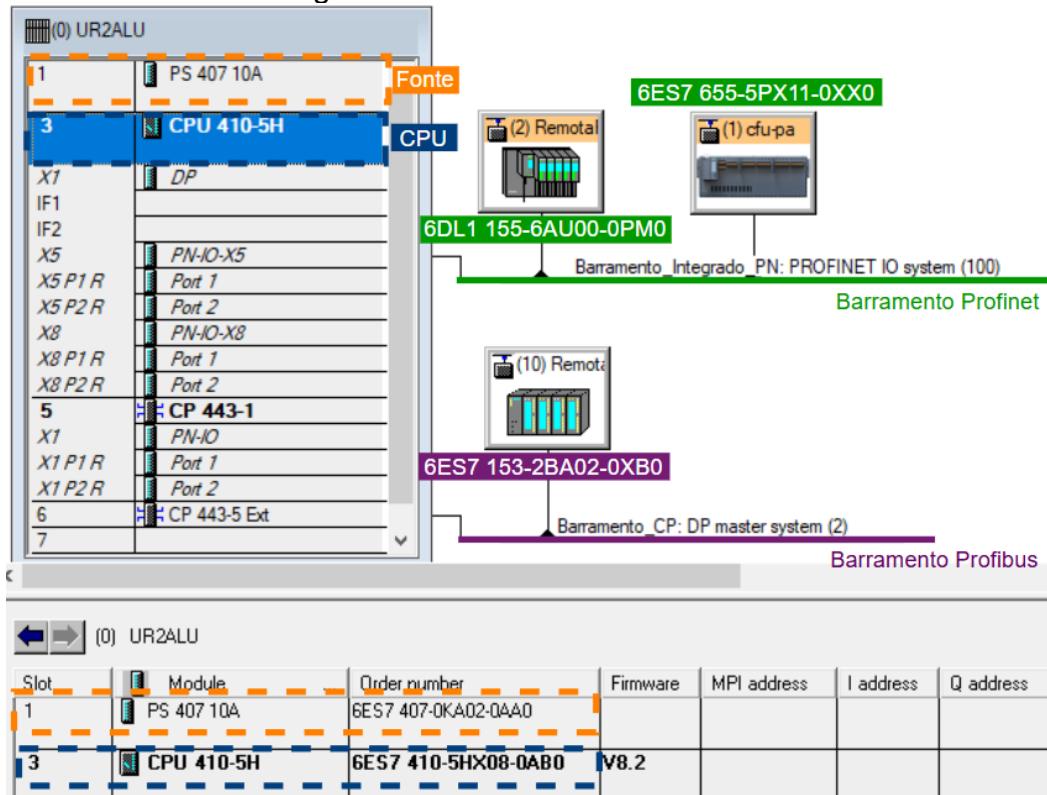
#### 4.2.1 Estrutura de *hardware*

Embora este trabalho se baseie em uma modelagem simulada, a estrutura de hardware foi construída com o propósito de seguir o exemplo de arquitetura DCS apresentado na Figura 6, incluindo uma rede de campo, destacada em roxo, correspondente ao protocolo Profibus, e uma rede corporativa Ethernet, destacada em verde, representando Profinet.

Dessa forma, de acordo com a Figura 27 foram adicionados dois barramentos para os dispositivos de campo — atuadores, sensores e *feedbacks* — conectados à

rede Profibus, além de um barramento corporativo. Também, é possível visualizar na ilustração abaixo os números de série da fonte, da CPU e das remotas.

Figura 27 - Estrutura de hardware.



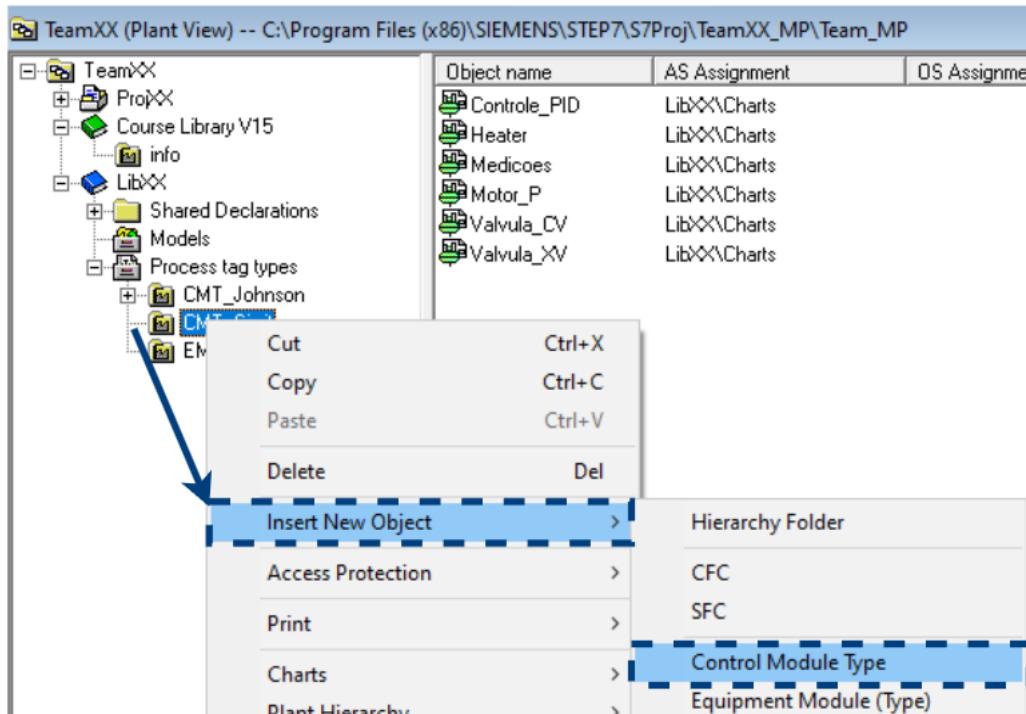
Fonte: (Próprio autor, 2025).

#### 4.2.2 Estrutura dos CFC

A AP Library V9.1 fornece a estrutura lógica em CFC para válvulas, motobombas, controle PID e medições analógicas dos sensores. Contudo, essa biblioteca apresenta originalmente os blocos no modelo obsoleto PTT (*Process tag type*), como ilustrado na Figura 6. Portanto, torna-se necessário convertê-los para o tipo atual CMT (*Control Model Type*).

Para realizar a conversão, deve-se acessar o *PlantView* e, na *Master Data Library*, adicionar um novo CMT, conforme demonstrado na Figura 28. Em seguida, basta inserir a estrutura lógica do dispositivo desejado diretamente da biblioteca, a qual será convertida automaticamente para CMT.

Figura 28 - Criação de um CMT para os dispositivos de campo.

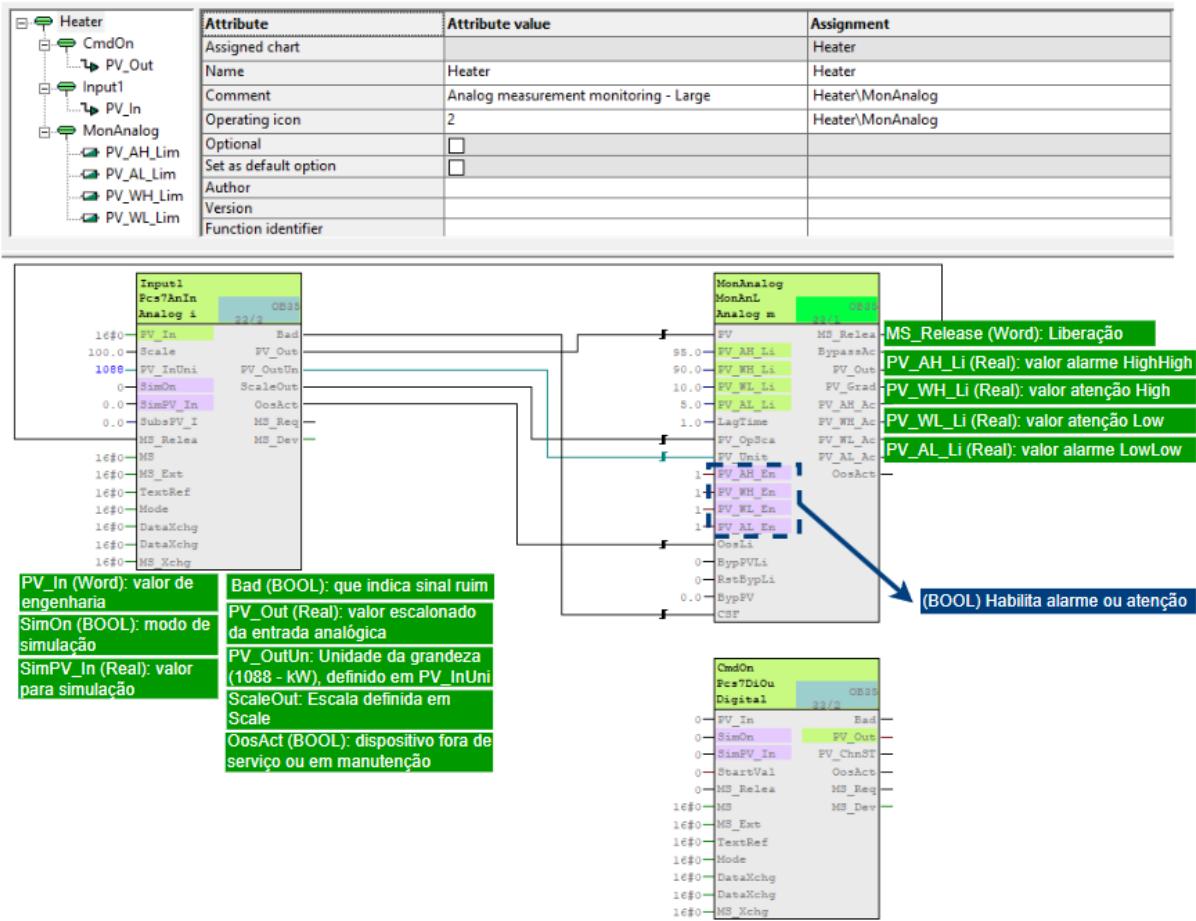


Fonte: (Próprio autor, 2025).

Contudo, para este trabalho, foi necessário desenvolver um CMT específico para o aquecedor elétrico, denominado *Heater* no PCS7. A Figura 29 apresenta a lógica construída. A barra superior em verde indica que o CMT desenvolvido, bem como os campos adicionados, encontram-se devidamente convertidos para o tipo CMT.

As variáveis de entrada de cada bloco, destacadas em roxo, indicam que esses campos estão disponíveis para *routine*, ou seja, podem ser editadas enquanto o programa está em execução *online*. Por sua vez, as variáveis de entrada ou saída, destacadas em verde, correspondem aos valores de engenharia que devem ser parametrizados e estão disponíveis para edição apenas após a compilação e o *download* do respectivo CFC.

Figura 29 - CFC desenvolvido para Heater.

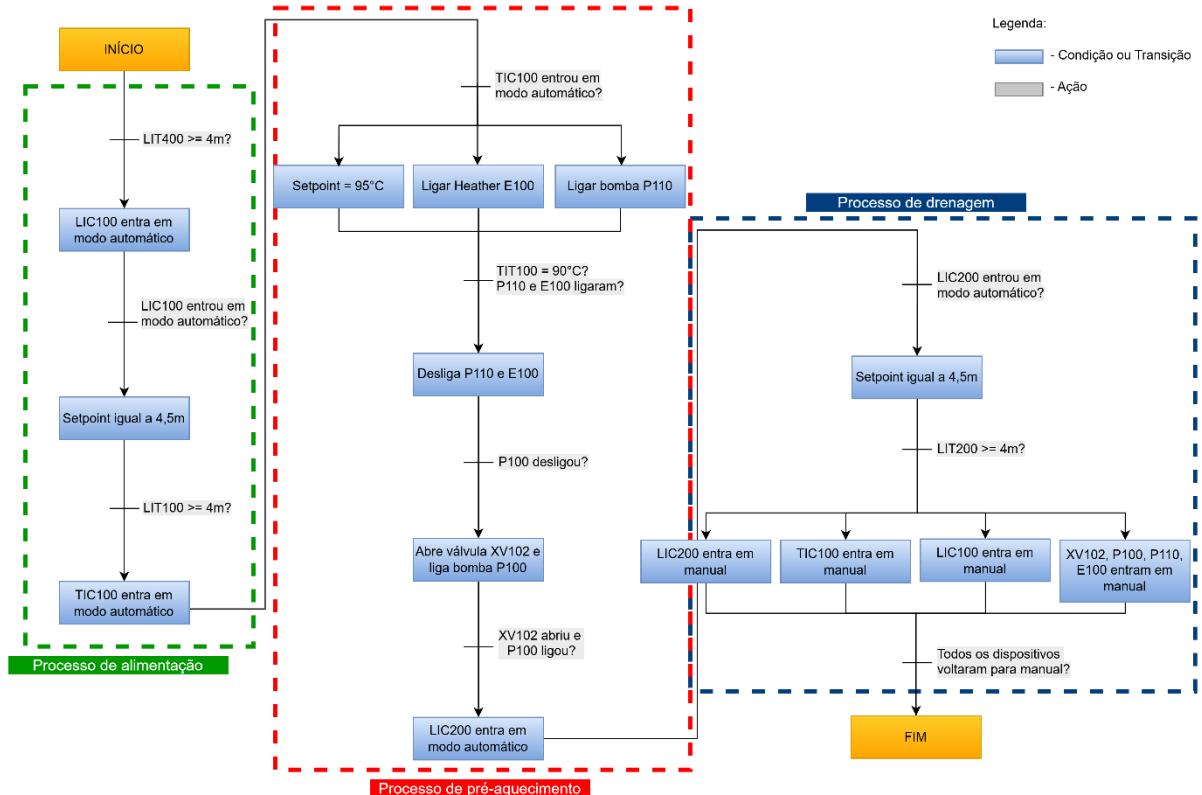


Fonte: (Próprio autor, 2025).

#### 4.2.3 Estrutura em SFC da sequência automática

É necessário que o sistema opere em modo automático; para isso, foi desenvolvida uma lógica sequencial em SFC, na qual estão incluídos: o processo de drenagem do reservatório de reposição de água B400, o controle de nível e temperatura do tanque B100 referente ao pré-aquecimento, e o controle de nível do tanque de alimentação do boiler B200. A Figura 30 ilustra o funcionamento do sistema em modo automático, enquanto a parametrização interna deste SFC encontra-se detalhada no diagrama lógico (ISA 5.2), disponível no **Apêndice C**.

Figura 30 - Sequência automática do sistema.



Fonte: (Próprio autor, 2025).

#### 4.2.4 Sintonia dos controladores PID

No projeto da planta, foram implementados três controladores PID, sendo dois dedicados ao controle de nível e um ao controle de temperatura. No modo automático da sequência, as malhas de nível operam com *setpoint* ajustado em 4,5 m; entretanto, a sequência avança para a próxima etapa assim que a variável de processo, medida pelos sensores LIT100 e LIT200, atinge 4,0 m. De forma análoga, na malha de temperatura o *setpoint* é definido em 95 °C, porém a progressão da sequência ocorre quando a variável de processo, medida pelo sensor TIT100, alcança 90 °C.

Observou-se que, à medida que a variável de processo se aproxima do valor de referência definido pelo *setpoint*, a variável manipulada das malhas de nível LIC100 e LIC200, representada pelas válvulas de controle CV101 e CV110, é drasticamente reduzida. Da mesma forma, na malha de temperatura TIC100, a variável manipulada representada pela válvula de controle CV203, também é intensamente reduzida à medida que a variável de processo se aproxima do *setpoint*.

O comportamento do controle, que reduz gradualmente as variáveis manipuladas, é esperado em sistemas com controle PID. Contudo, essa configuração faz com que a modelagem da planta se aproxime do limite de utilização da versão demonstrativa do SIMIT. Para evitar esse inconveniente, definiu-se que o avanço da sequência ocorra assim que as variáveis de processo, medidas pelos sensores, atinjam valores 0,5 inferiores ao *setpoints*.

A Tabela 4 apresenta os parâmetros definidos para os controladores correspondentes às duas malhas de nível, LIC100 e LIC200, e à malha de temperatura, TIC100. Os valores de ganho proporcional, integral e derivativo foram obtidos de forma heurística. Como o ganho derivativo (Td) é nulo, o controlador PID reduz-se a um controlador do tipo PI.

Tabela 4 - Parâmetros dos controladores PI

Parâmetros dos controladores PI				
Controlador	SP	Kp	Ti	Td
LIC100	4,5m	500	300	0
LIC200	4,5m	500	300	0
TIC100	95°C	1,8	0,1	0

Fonte: (Próprio autor, 2025).

Para a documentação do projeto, foi elaborado o diagrama de malha (ISA 5.4) correspondente a cada malha de controle presente na planta. O documento encontra-se disponível no **Apêndice D** deste trabalho.

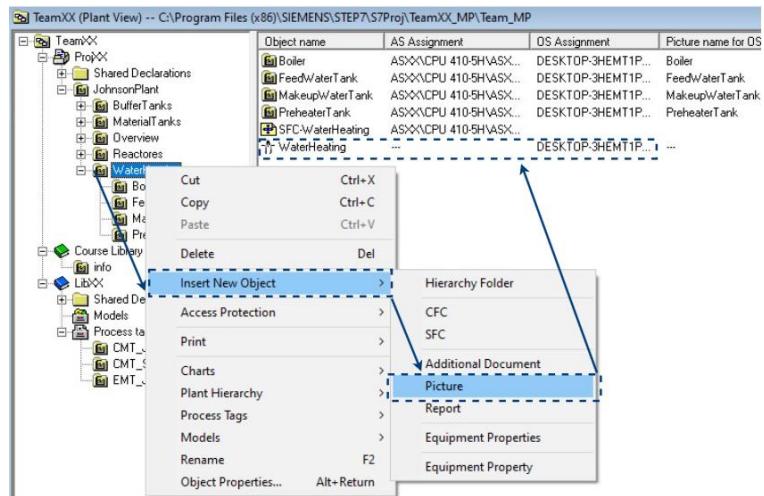
#### 4.2.5 Parametrização do sistema de supervisão WinCC

A visualização da planta modelada no SIMIT e controlada pelo PCS7 é realizada por meio do sistema supervisório WinCC, que, por se tratar de uma arquitetura DCS, encontra-se totalmente integrado ao SIMATIC Manager. Dessa forma, a configuração realizada no WinCC consistiu principalmente no posicionamento dos objetos criados em CFC e das sequências lógicas em SFC, enquanto o desenho dos tanques foi construído a partir de figuras geométricas disponíveis na ferramenta de edição de telas.

O WinCC mantém a hierarquia definida, de modo que cada área do processo é aberta em sua própria tela (*Picture*), seguindo a ordem correspondente. Para este

trabalho, foi desenvolvida uma tela inicial que apresenta a visão geral da planta, cujo processo de criação pode ser observado na Figura 31.

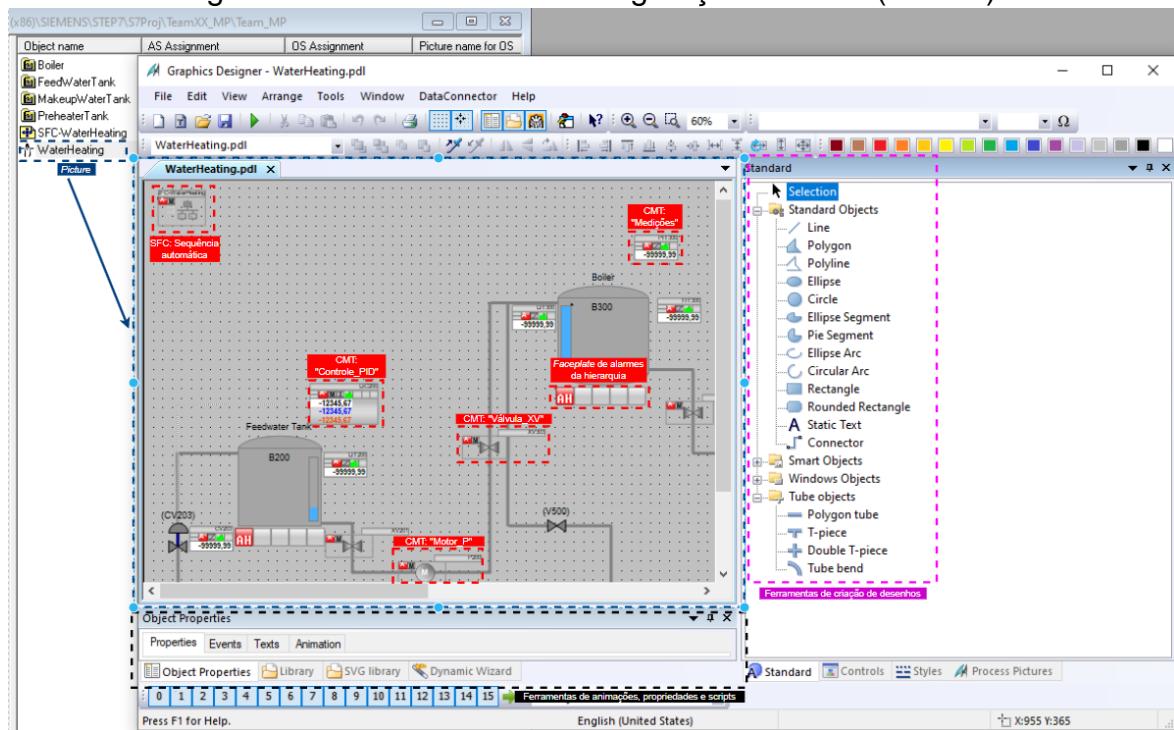
Figura 31 - Criação da tela do processo.



Fonte: (Próprio autor, 2025).

Uma vez que os CMTs foram criados para cada tipo de dispositivo, conforme apresentado na Figura 28 e posicionados na hierarquia correspondente ao processo, a *faceplate* referente a cada objeto é atribuída automaticamente ao inserir esses elementos na tela, ilustrada na Figura 31. Ao abrir a tela “WaterHeating”, é possível visualizar alguns dos objetos baseados em CMT, conforme mostrado na Figura 32. No menu de figuras geométricas, localizado à direita, observam-se as ferramentas utilizadas para compor os desenhos dos tanques, tubulações e válvulas de controle.

Figura 32 - Ferramenta de configurações da tela (Picture).

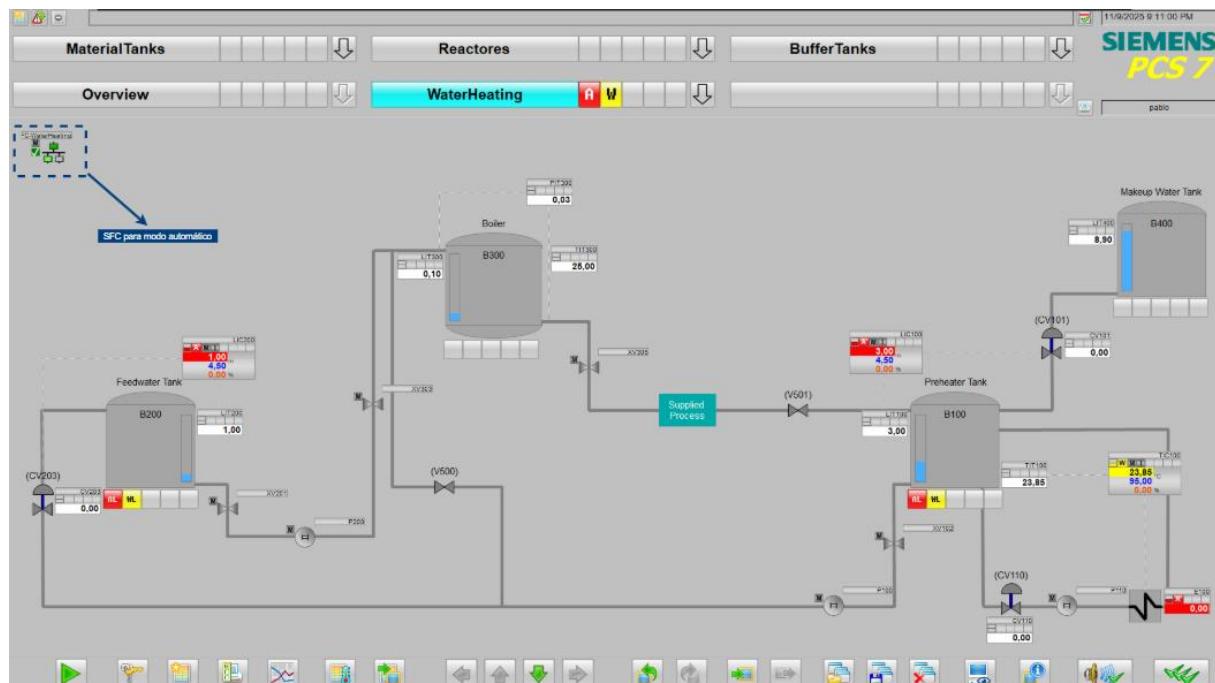


Fonte: (Próprio autor, 2025).

## 5 RESULTADOS E ANÁLISES

O sistema, em suas condições iniciais, foi descrito na Figura 26 e, com as parametrizações realizadas, torna-se apto a entrar em operação. A Figura 33 apresenta o sistema de supervisão também em suas condições iniciais. Ao acionar o *faceplate*, indicado pela seta azul, o processo é iniciado em modo automático.

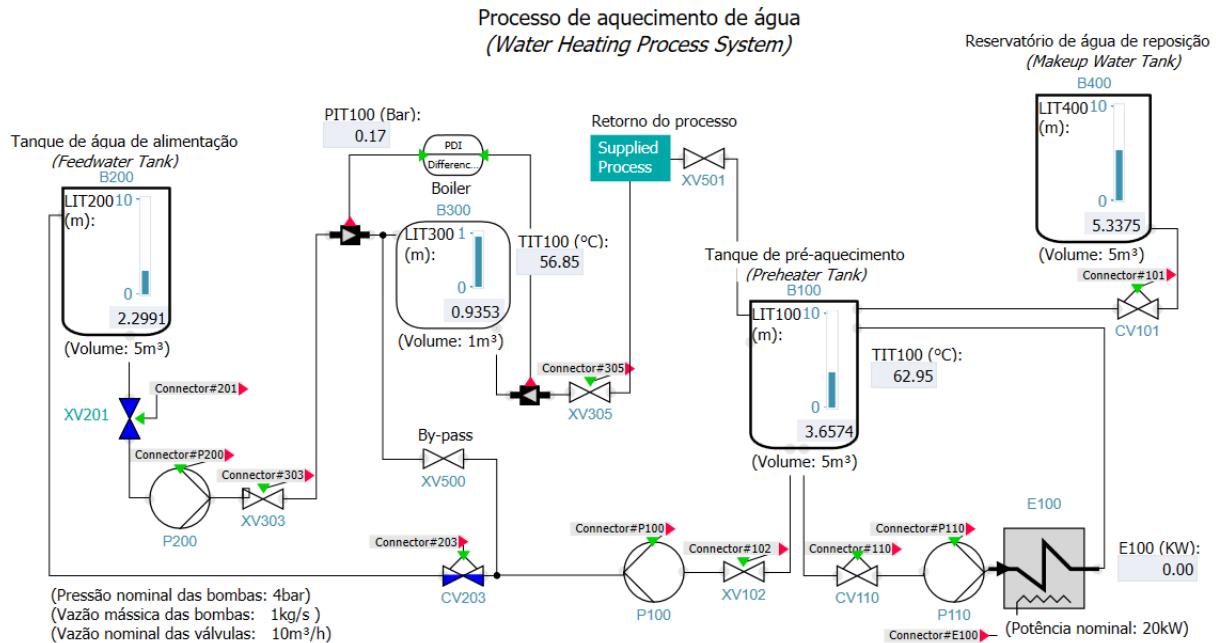
Figura 33 - Sistema de supervisão inicial.



Fonte: (Próprio autor, 2025).

Foi registrado o tempo de operação do sistema em modo automático, iniciado às 21h11min. O processo levou exatamente 32 minutos e 38 segundos para concluir o ciclo de operação automática, incluindo a drenagem manual realizada pelo operador para o boiler. A Figura 34 apresenta o comportamento da planta modelada no SIMIT ao final do processo, no qual foi observada uma queda de temperatura, condizente com a dinâmica do sistema. A temperatura final atingida no boiler, quando este encontrava-se com 93,53% do nível, foi de 56,85 °C.

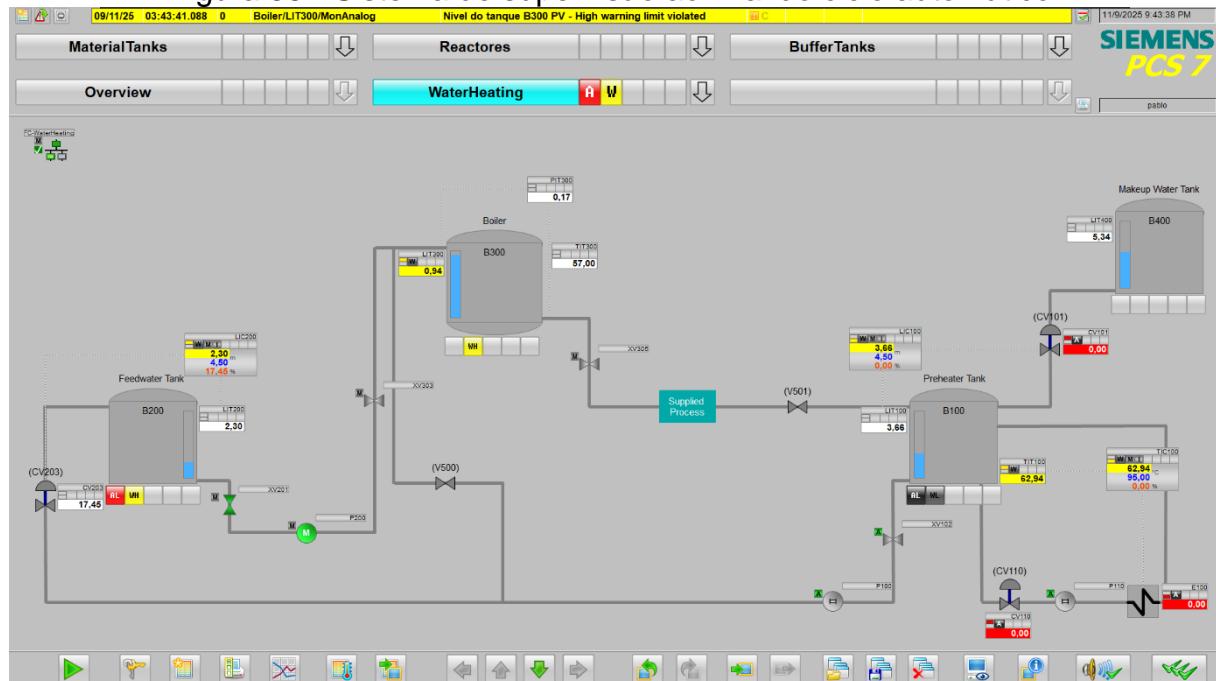
Figura 34 - Sistema de modelagem ao final do ciclo automático.



Fonte: (Próprio autor, 2025).

O comportamento do sistema de supervisão também é condizente com o obtido ao SIMIT, pode ser visto na Figura 35.

Figura 35 - Sistema de supervisão ao final do ciclo automático.



Fonte: (Próprio autor, 2025).

Portanto, tanto pela visualização do sistema no WinCC quanto na ferramenta de modelagem SIMIT, foi possível confirmar o êxito da comunicação entre as

plataformas, alcançando resultados consistentes e compatíveis com os esperados em um cenário real.

## 6 CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE CONTINUIDADE

Neste trabalho, foi desenvolvida a modelagem de uma planta de processo simulada, cuja operação e controle foram realizados por meio da integração entre a arquitetura DCS baseada em PCS7 e a ferramenta de engenharia SIMIT. O objetivo principal consistiu em compreender o funcionamento da arquitetura DCS e demonstrar a importância da modelagem da planta para disponibilizar sinais de comando e de retorno, além de viabilizar a aplicação de controle PID e a operação via sistema supervisório.

Ao longo do desenvolvimento, foram definidos o escopo e as premissas da aplicação, considerando as limitações impostas pela versão *demo* do SIMIT, bem como a utilização de uma máquina virtual concentrando, simultaneamente, a estação de engenharia (ES) e a estação de operação (OS). A lógica e o controle foram elaborados integralmente no ambiente PCS7.

Posteriormente, procederam-se às parametrizações necessárias do sistema, abrangendo: importação e escalonamento das *tags*, configuração das rampas de operação, modelagem da planta, definição do *hardware*, elaboração da lógica de controle e ajuste dos controladores PID. No ambiente de modelagem, foi possível validar os comportamentos esperados e confirmar a eficácia da comunicação entre as plataformas utilizadas. Finalmente, foram configurados os objetos gráficos no WinCC, permitindo a operação e supervisão completa da planta de processo modelada no SIMIT e integrada ao controle implementado no PCS7.

Dessa forma, conclui-se que, conforme os objetivos propostos neste trabalho, foi implementada com sucesso uma solução para modelagem virtual de uma planta de processo, integrada a uma arquitetura DCS. Este estudo, portanto, cria oportunidades para futuros aprimoramentos, contribuindo para o desenvolvimento de soluções mais abrangentes, aplicáveis tanto em contextos educacionais quanto em aplicações práticas no setor de automação industrial.

Algumas possibilidades de aprimoramento para pesquisas futuras incluem:

- Desenvolvimento de uma caldeira capaz de realizar mudança de fase com temperatura acima de 100 °C e a distribuição do ar quente gerado a um processo exemplo.

- Desenvolvimento da sequência lógica em SFC *Type*, com o objetivo de permitir atualizações futuras para PCS Neo e aplicabilidade na plataforma de gerenciamento Siemens COMOS.
- Utilização de servidor OPC para troca de dados entre o SIMIT e outros sistemas, incluindo DCS de fabricantes distintos, como o PlantPax, da Rockwell Automation (EUA).

## REFERÊNCIAS

- AGHAJANI, Mohammadreza. **SolisPLC**, 2025. Disponível em: <<https://www.solisplc.com/tutorials/dcs-distributed-control-system>>. Acesso em: 15 Julho 2025.
- ARKADIUSZ HULEWICZ, Zbigniew K. E. K. D. Distributed control system DCS using a PLC controller. **ITM Web of Conferences**, Poznan, Polônia, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1051/itmconf/20192801041>>.
- BENEDICTO, Plínio; BITTAR, Anselmo; MOURA, Roberto. **Controle Automático**. 2<sup>a</sup>. ed.
- BRAZEAU, Randi H.; EDWARDS, Marc A. Optimization Of Electric Hot Water Recirculation Systems For Comfort, Energy And Public Health. **Journal of Greenbuilding**, Denver, EUA, 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.3992/jgb.8.2.73>>. Acesso em: 15 Novembro 2025.
- CABRERA, Stefano A.; ROJAS-MORENO, Arturo. Implementation of a Distributed Control System. **IEEE Xplore**, Lima, Peru, 2022. Disponível em: <[https://www.astesj.com/publications/ASTESJ\\_050103.pdf](https://www.astesj.com/publications/ASTESJ_050103.pdf)>.
- CHAMORRO-ATALAYA, Omar; , Jaime Y.-Y.; ARCE-SANTILLAN, Dora. Industrial Network for The Control and Supervision of The Acetic Acid Dispatch Process, and Influence on The Reduction of Chemical Contaminants for Operators. **ASTES**, Lima, Peru, 2020. Disponível em: <[https://www.astesj.com/publications/ASTESJ\\_050103.pdf](https://www.astesj.com/publications/ASTESJ_050103.pdf)>. Acesso em: 13 Julho 2025.
- COLOGNI, Mario Andrei et al. Estudo e avaliação de metodologias de auto-sintonia de controladores pid visando uma implementação em controlador industrial. **UFSC**, Santa Catarina, Brasil, 2008. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/91562/261764.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>.
- FROES, Marcela S. et al. **IFSP**, 2021. Disponível em: <[https://pep2.ifsp.edu.br/mct/wp-content/uploads/2021/10/00070\\_01\\_Poster-Redes-Industriais-protocolos-de-automa%C2%BA%C3%BAo-e-pir%C3%B3mide-de-automa%C2%BA%C3%BAo.pdf](https://pep2.ifsp.edu.br/mct/wp-content/uploads/2021/10/00070_01_Poster-Redes-Industriais-protocolos-de-automa%C2%BA%C3%BAo-e-pir%C3%B3mide-de-automa%C2%BA%C3%BAo.pdf)>. Acesso em: 2025 Novembro 12.
- IMD. **IMD (Instituto Metrópole Digital) da UFRN**, 2025. Disponível em: <<https://materialpublic.imd.ufrn.br/curso/disciplina/1/63>>. Acesso em: 09 Novembro 2025.
- ISA. **Scribd**, 1991. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/document/352428320/ANSI-ISA-5-4>>. Acesso em: 21 Julho 2025.
- ISA. **Scribd**, 1992. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/document/133541823/ISA-5-2>>. Acesso em: 25 Julho 2025.
- ISA. **Scribd**, 2009. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/document/236235279/Traducion-Isa-Completa>>. Acesso em: 18 Julho 2025.
- KADU, C. B.; TIDAME, Sujata; P. S. VIKHE, S. M. T. Design of PI controller for Liquid Level System using Siemens Distributed Control System. **International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE)**, Pune, India, 2019. Disponível em: <<https://www.ijrte.org/wp-content/uploads/papers/v8i3/C5005098319.pdf>>. Acesso em: 13 Julho 2025.
- LI, Yongwei et al. Process Automation System Development of Lyocell Staple Fiber Plant Based on PlantPAx. **5th International Conference on Advanced Design and Manufacturing Engineering (ICADME)**, Jinan, China, 2015. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/297741872\\_Automation\\_of\\_Production\\_and\\_Recycling\\_Paper\\_Tissue\\_Using\\_PLC\\_PAC\\_HMI\\_and\\_EthernetIP](https://www.researchgate.net/publication/297741872_Automation_of_Production_and_Recycling_Paper_Tissue_Using_PLC_PAC_HMI_and_EthernetIP)>. Acesso em: 14 Julho 2015.

MARKETS and Markets. **Markets and Markets**, 2025. Disponível em: <<https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/distributed-control-system-market-239430160.html>>.

NEXTMSC. **Next Move Strategy Consulting**, 2025. Disponível em: <<https://www.nextmsc.com/blogs/what-makes-honeywell-and-abb-the-giants-of-the-dcs-market-find-out-now>>.

PANG, Qinkang; CAI, Yuxuan; LONG, Yunchong. Design of Integrated Control System for Industrial Boilers Based on PCS7. **IEEE Xplore**, Wuhan, China, 2024. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/10824054>>. Acesso em: 16 Julho 2025.

PORKHOLM, K; KANTEE, H; TIIHONEN, O. APROS multifunctional simulator applications for VVER-440. **IAEA (International Atomic Energy Agency)**, Fortum, Finlândia, 2000. Disponível em: <<https://inis.iaea.org/records/ne21q-vyp14>>. Acesso em: 13 Novembro 2025.

POSAUTOMAÇÃO UFSC. **PosAutomação UFSC**, 2024. Disponível em: <[https://posautomacao.ufsc.br/avaliacao-quadrienal-2021-2024-programa/?utm\\_source=chatgpt.com](https://posautomacao.ufsc.br/avaliacao-quadrienal-2021-2024-programa/?utm_source=chatgpt.com)>. Acesso em: 12 Julho 2025.

POŞTOVEI, Dănuț A. et al. The evolution and challenges of modern Distributed Control Systems. **IEEE Xplore**, Timisoara, Romênia, 2020. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/9118829>>. Acesso em: 14 Julho 2025.

RAFID, M. et al. Augmentation of heat exchanger performance with hybrid nanofluids: Identifying research gaps and future indications. **ScienceDirect**, Dhaka, Bangladesh, 2024. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com.ez16.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0735193324002999?via%3Dihub#bb0035>>. Acesso em: 30 Setembro 2025.

RANKING Universitário. **Folha de SP**, 2023. Disponível em: <<https://ruf.folha.uol.com.br/2023/ranking-de-cursos/engenharia-de-controle-e-automacao/>>. Acesso em: 12 Julho 2025.

SANTILLÁN, Gerardo; NIEMISTÖ, Hannu; KARHELA, Tommi. A Hybrid Approach for the Initialization of Tracking Simulation Systems. **IEEE**, Espoo, Finlândia, Setembro 2015. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/283296825\\_A\\_hybrid\\_approach\\_for\\_the\\_initialization\\_of\\_tracking\\_simulation\\_systems](https://www.researchgate.net/publication/283296825_A_hybrid_approach_for_the_initialization_of_tracking_simulation_systems)>. Acesso em: 09 Novembro 2025.

SATHEESWARAN, G. et al. **ScienceDirect**, Jülich, Alemanha, 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S092037961730683X>>. Acesso em: 14 Julho 2025.

SEZAI, I. et al. Performance improvement by using dual heaters in a storage-type domestic electric water-heater. **ScienceDirect**, Mersin, Turquia, 2005. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2004.07.011>>. Acesso em: 15 Novembro 2025.

SIEMENS. **Technical Documentation SIMATIC PCS 7 V9.1**, 2022. Disponível em: <<https://www.industry-mobile-support.siemens-info.com/en/article/detail/109812050>>. Acesso em: 16 Julho 2025.

SIEMENS. **Siemens**, 2022. Disponível em: <[https://cache.industry.siemens.com/dl/files/085/109812085/att\\_1109061/v1/SIMIT\\_enUS\\_en-US.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/085/109812085/att_1109061/v1/SIMIT_enUS_en-US.pdf)>. Acesso em: 22 Setembro 2025.

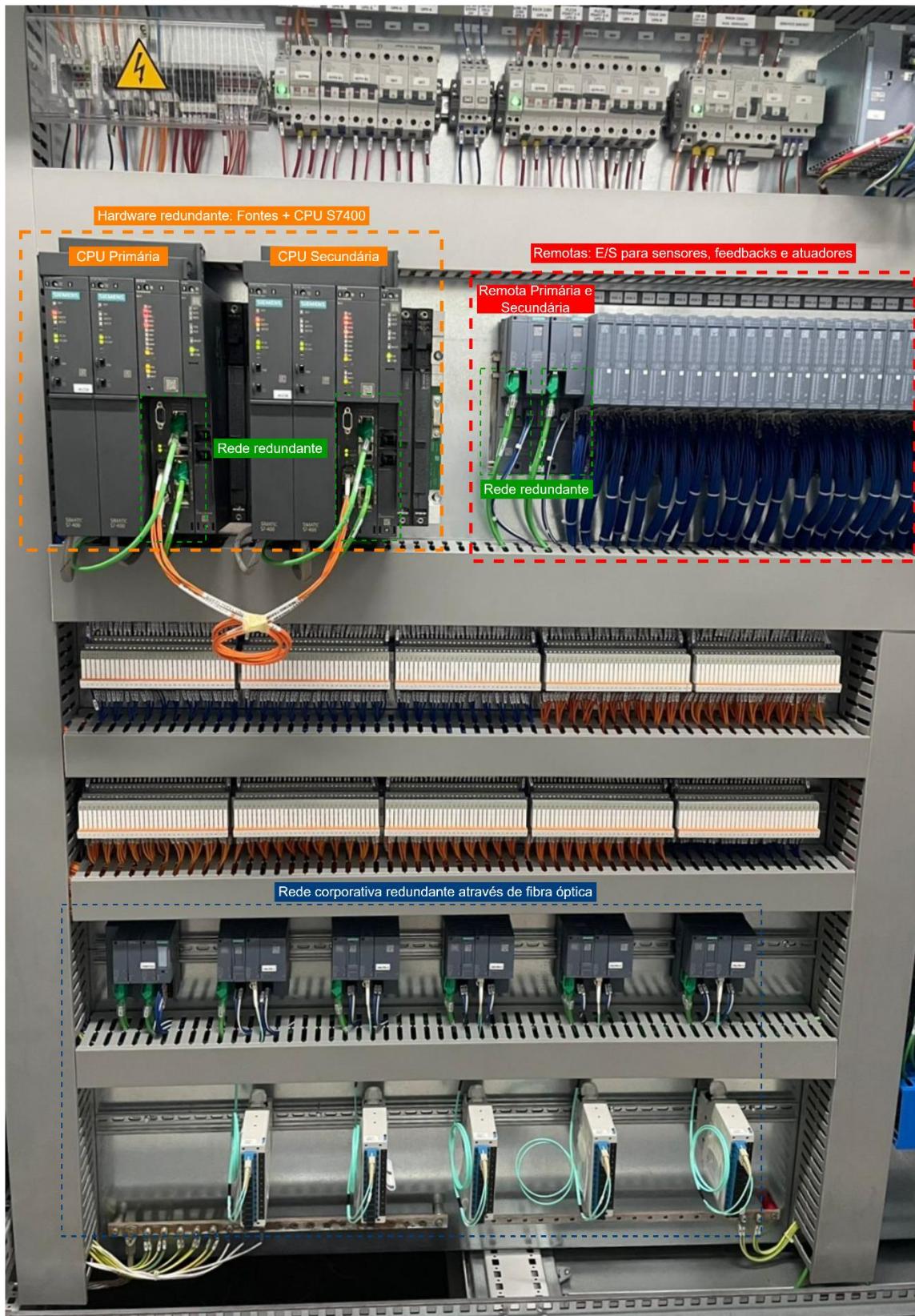
UFMG. **UFMG**, 2024. Disponível em: <<https://controle.eng.ufmg.br/matriz-curricular-diruno/>>. Acesso em: 22 Setembro 2025.

UFPE. **UFPE**, 2024. Disponível em: <<https://www.ufpe.br/engenharia-de-controle-e-automacao-bacharelado-ctg>>. Acesso em: 22 Setembro 2025.

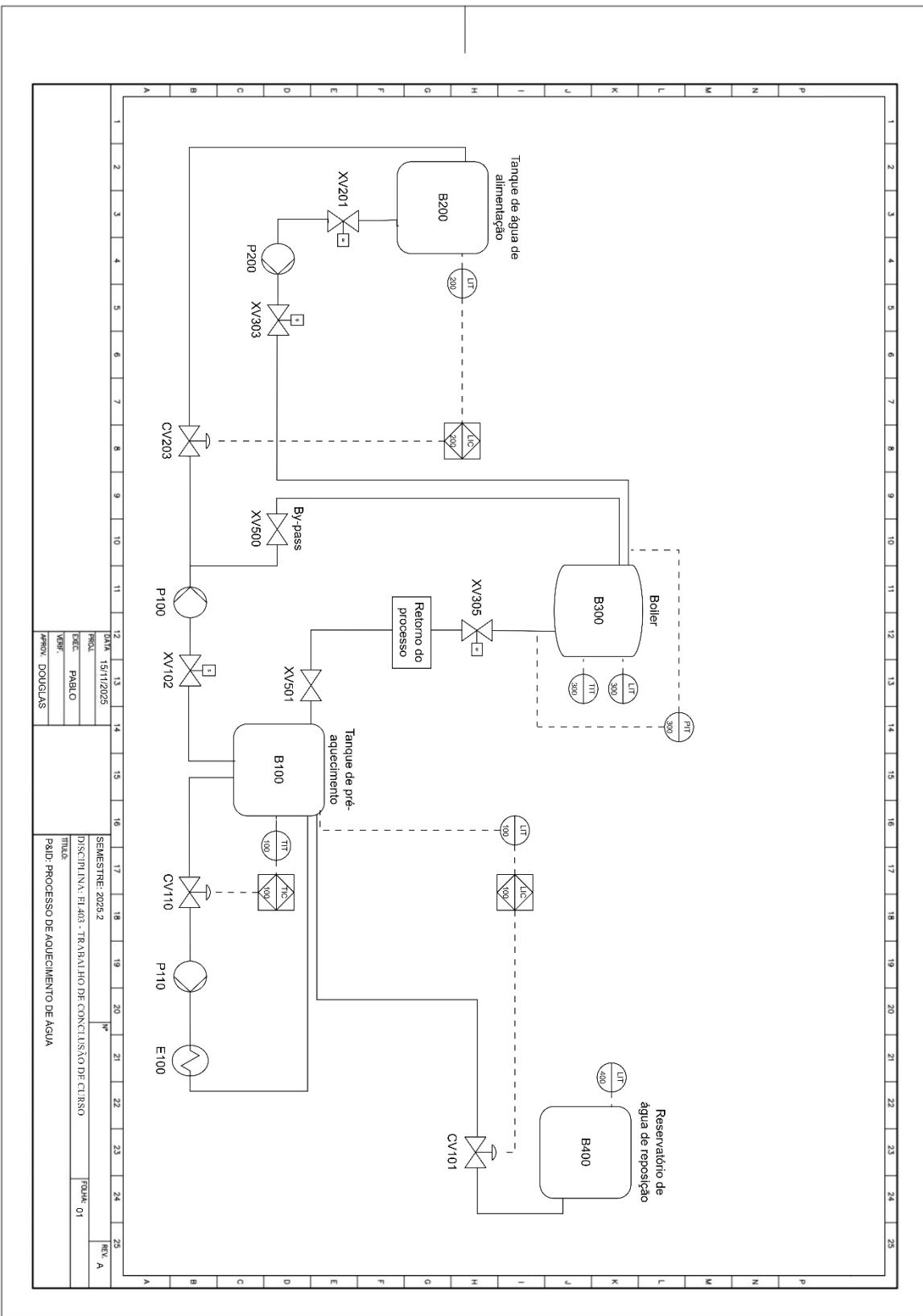
- UFRGS. **UFRGS**, 2024. Disponível em: <<https://www.ufrgs.br/comgrad-cca/wp-content/uploads/Grade/grade-sintetica.pdf>>. Acesso em: 22 Setembro 2025.
- UFRJ. **UFRJ**, 2008. Disponível em: <<https://siga.ufrj.br/sira/temas/zire/frameConsultas.jsp?mainPage=/repositorio-curriculo/DA28E2BF-92A4-F799-6747-B5C2B6BBEF5.html>>. Acesso em: 22 Setembro 2025.
- UFSC. **UFSC**, 2024. Disponível em: <[https://automacao.ufsc.br/grade\\_curricular/](https://automacao.ufsc.br/grade_curricular/)>. Acesso em: 22 Setembro 2025.
- UFSM. **UFSM**, 2023. Disponível em: <<https://www.ufsm.br/cursos/graduacao/santa-maria/engenharia-de-controle-e-automacao/projeto-pedagogico>>. Acesso em: 2025 Setembro 22.
- UFTPR. **UFTPR**, 2017. Disponível em: <<https://www.utfpr.edu.br/cursos/coordenacoes/graduacao/curitiba/ct-engenharia-de-controle-e-automacao/matriz-e-docentes>>. Acesso em: 22 Setembro 2025.
- UFU. **UFU**, 2020. Disponível em: <[https://www.feelt.ufu.br/system/files/conteudo/ppc\\_do\\_curso\\_de\\_graduacao\\_em\\_engenharia.pdf](https://www.feelt.ufu.br/system/files/conteudo/ppc_do_curso_de_graduacao_em_engenharia.pdf)>. Acesso em: 2025 Setembro 22.
- UNESP. **UNESP**, 2023. Disponível em: <<https://www.sorocaba.unesp.br/#!/graduacao/engenharia-de-controle-e-automacao/projeto-politico-pedagogico/eca04/>>. Acesso em: 22 Setembro 2025.
- UNICAMP. **Unicamp**, 2024. Disponível em: <<https://www.dac.unicamp.br/sistemas/catalogos/grad/catalogo2024/cursos/49g/sugestao.html>>. Acesso em: 22 Setembro 2025.
- WEISCHWILL, Lyle. **Sears HOME SERVICES**, 2025. Disponível em: <<https://www.searshomeservices.com/blog/how-do-electric-water-heaters-work-overview>>. Acesso em: 15 Novembro 2025.

## APÊNDICES

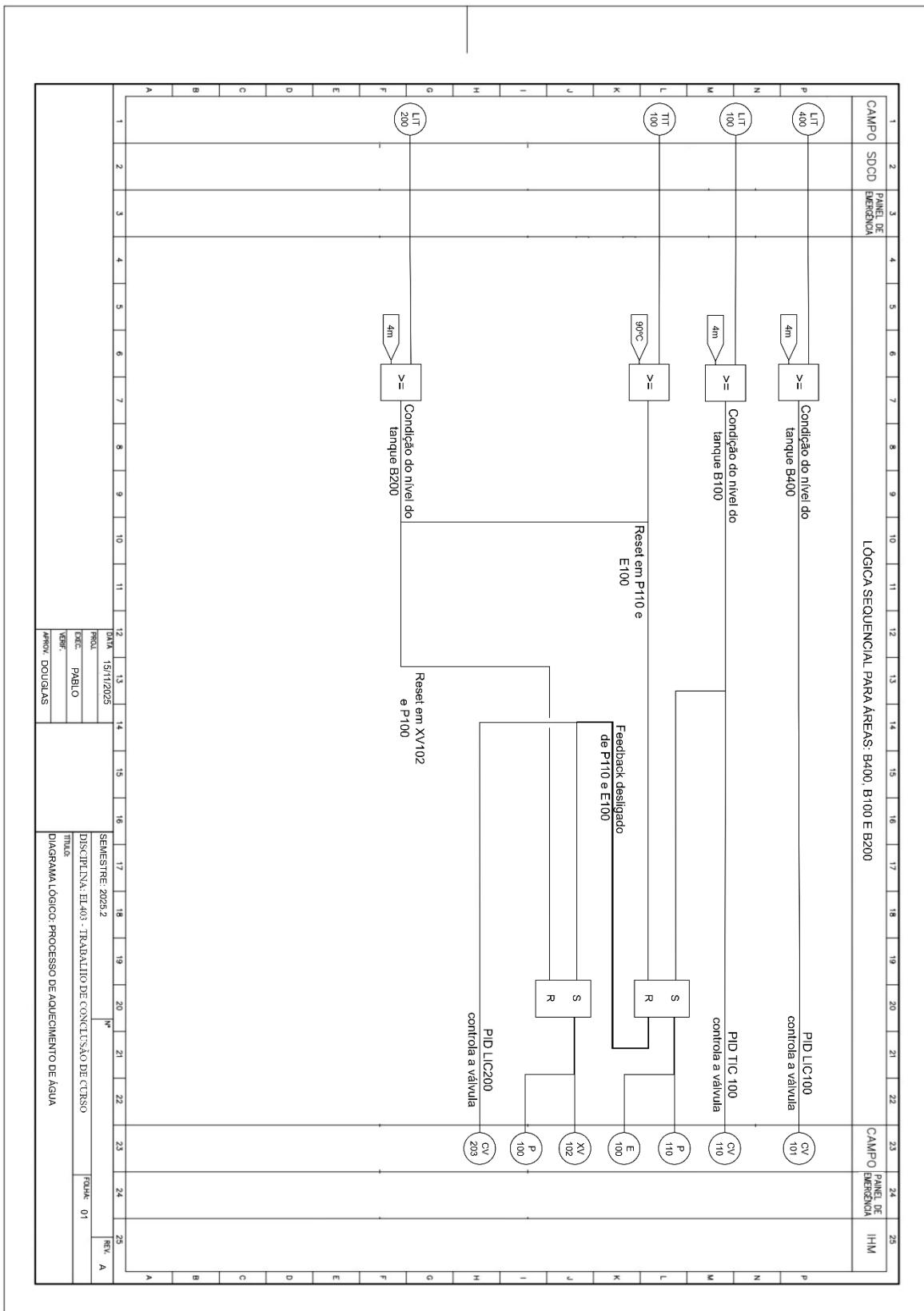
### APÊNDICE A – Exemplo de rack com DCS PCS7



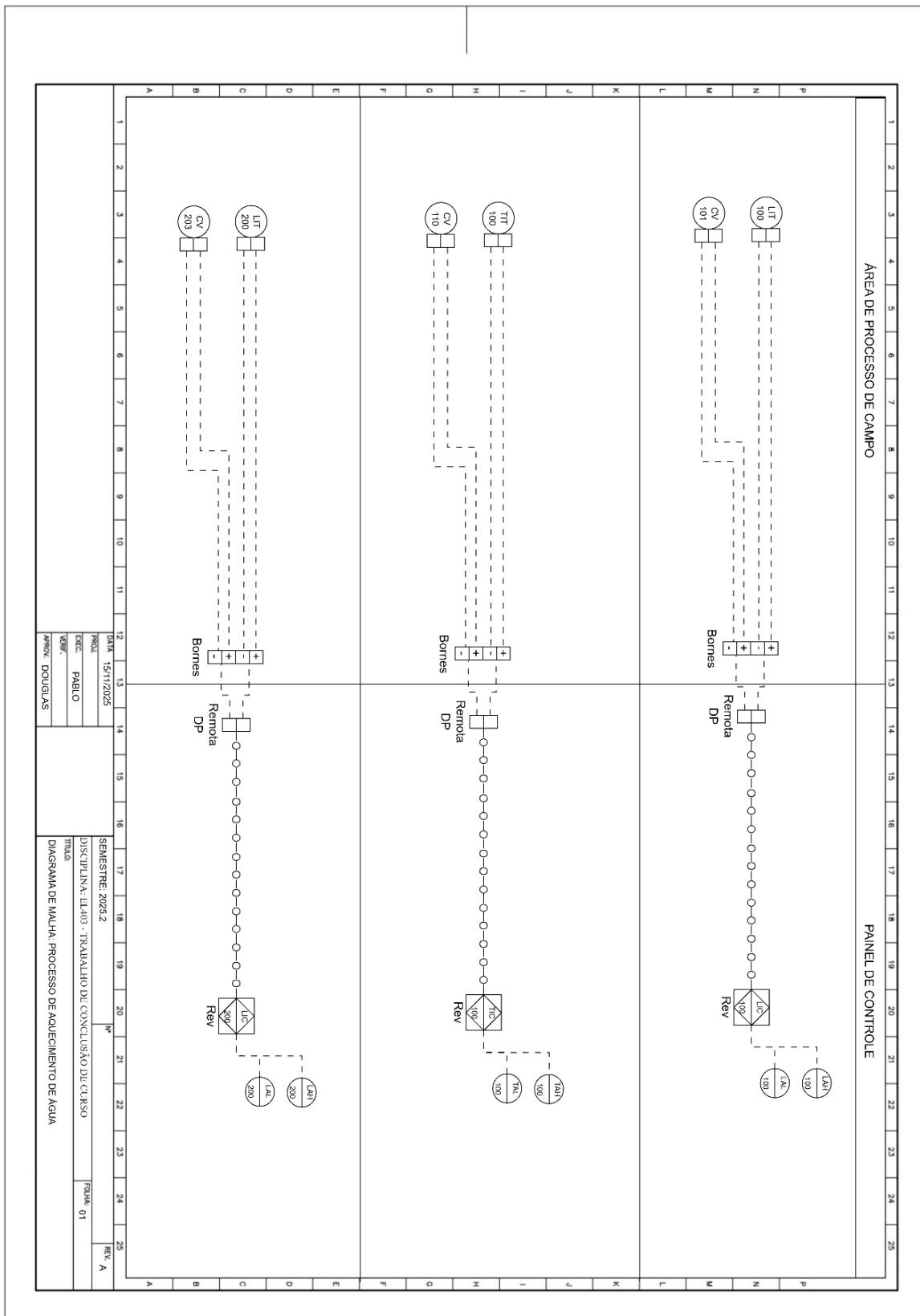
## APÊNDICE B – P&ID da planta conforme ISA 5.1



APÊNDICE C – Sequência automática conforme ISA 5.2



## APÊNDICE D – Diagrama de malha dos controladores conforme ISA 5.4



## ANEXOS

### ANEXO A – Códigos de instrumentos baseados na norma ISA 5.1

PRIMEIRA LETRA		LETROS SUBSEQUENTES		
Variável Medida ou inicial (3)	Modificadora	Função de informação ou passiva	Função final	Modificadora
A Analisador (4)	-	Alarme	-	
B Chama de queimador		Indefinid	Indefinida (1)	Indefinida (1)
C Condutividade elétrica	-	-	Controlador (12)	-
D Densidade ou massa específica	Diferencial (3)	-	-	-
E Tensão elétrica	-	Elemento primário	-	-
F Vazão	Razão (fração)	-	-	-
G Medida dimensional	-	Visor (8)	-	-
H Comando Manual	-	-	-	Alto (6,14,15)
I Corrente elétrica	-	Indicador (9)		-
J Potência	Varredura ou Seletor (6)	-	-	-
L Nível		Lâmpada Piloto	-	Baixo (6,14,15)
M Umidade				Médio intermediário
N(1 ) Indefinida		Indefinida (1)	Indefinida (1)	Indefinida (1)
O Indefinida (1)		Orifício de restrição	-	-
P Pressão ou vácuo		Ponto de teste	-	-
Q Quantidade ou evento	Integrador ou totalizador (3)	-	-	-
R Radioatividade	-	Registrador ou impress	-	-
S Velocidade ou freqüência	Segurança (7)		Chave (12)	-
T Temperatura	-	-	Transmissor	-
U Multivariável (5)	-	* Multifunção (11)	* Multifunção (11 )	* Multifunção (11)
V Viscosidade	-	-	Válvula (12)	-
W Peso ou força	-	Poço	-	-
X(2) Não classificada	-	Não classificada	Não classificada	Não classificada
Y Indefinida (1)	-	-	Relé ou computacão (11,13)	-
Z Posição	-	-	Elemento final de controle classificado	-

Fonte: Adaptado de (ISA, 2009).