

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA
CAMPUS CAJAZEIRAS

ALBERTINO FERREIRA DE LIMA NETO

**AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL EM AMBIENTE VIRTUAL: ESTUDO DE CASO DO
CONTROLE DE NÍVEL DE UM TANQUE**

Cajazeiras-PB
2025

IFPB / Campus Cajazeiras
Coordenação de Biblioteca
Biblioteca Prof. Ribamar da Silva
Catalogação na fonte: Cícero Luciano Félix CRB-15/750

- L732a Lima Neto, Albertino Ferreira de.
Automação industrial em ambiente virtual : estudo de caso do controle de nível de um tanque / Albertino Ferreira de Lima Neto.– 2025.
- 36f. : il.
- Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Cajazeiras, 2025.
- Orientador(a): Prof. Me. Gerônimo Barbosa Alexandre.
1. Controle automático. 2. Automação industrial. 3. Controle de nível. 4. Simulação computacional. I. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba. II. Título.

IFPB/CZ

CDU: 681.5(043.2)

ALBERTINO FERREIRA DE LIMA NETO

**AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL EM AMBIENTE VIRTUAL: ESTUDO DE CASO DO
CONTROLE DE NÍVEL DE UM TANQUE**

Trabalho de Conclusão de Curso, sob forma de monografia, submetido à Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, *Campus* Cajazeiras, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Controle e Automação.

Aprovado em agosto de 2025

BANCA EXAMINADORA

M. Sc. Geronimo Barbosa Alexandre – IFPB-*Campus* Cajazeiras
Orientador

D. Sc. Jordânio Inácio Marques– UFMA-*Campus* Chapadinha
Examinador 1

Esp. Manoel Alves Cordeiro Neto – IFPE-*Campus* Garanhuns
Examinador 2

À minha mãe e ao meu pai, por nunca medirem esforços para que eu chegasse até aqui. Esta conquista é tão de vocês quanto minha.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me concedido força de vontade e resiliência para enfrentar as tribulações ao longo destes anos de graduação.

Sou profundamente grato à minha família, que sempre foi minha base de força e apoio. Em especial, à minha mãe, Maria das Graças Ferreira Lopes, e ao meu pai, Luiz Lopes da Silva, que se esforçaram para que eu pudesse alcançar este objetivo tão sonhado: a graduação. Faço uma menção honrosa à minha avó, Maria Soares da Silva, a quem fiz uma promessa que me veria formado, mas que, infelizmente, não pôde estar presente neste momento. No entanto, sua força e sua fé em mim foram fundamentais em minha caminhada.

Agradeço também aos colegas de faculdade, que estiveram ao meu lado durante seminários e provas, vencendo juntos cada desafio, e aos amigos que a vida e Deus me deram ao longo desse percurso.

Ao meu orientador, Professor Mestre Geronimo Barbosa Alexandre, deixo minha sincera gratidão por sua paciência e por suas sugestões valiosas, que enriqueceram significativamente este Trabalho de Conclusão de Curso.

Por fim, agradeço ao Instituto Federal da Paraíba (IFPB), *Campus Cajazeiras*, pela oportunidade de crescimento e aprendizado, especialmente nas atividades voltadas à pesquisa.

RESUMO

Este Trabalho de Conclusão de Curso tem como objetivo desenvolver um sistema de automação industrial em ambiente virtual voltado para o controle de nível de um tanque. Para isso, foram utilizados três *softwares* principais: FACTORY IO para a simulação da planta industrial, CODESYS para a implementação do controlador PID em um CLP virtual e Eclipse E3 como plataforma de supervisão e *interface* homem-máquina (IHM). A metodologia adotada compreendeu a modelagem matemática da planta com base em dados extraídos da simulação, permitindo a obtenção de uma função de transferência de primeira ordem com atraso. Com base nesse modelo, foi aplicada a metodologia de Ziegler-Nichols para a sintonização dos parâmetros do controlador PID. A lógica de controle foi implementada em linguagem *Ladder* no CODESYS e integrada à cena 12 simulada do FACTORY IO por meio do protocolo OPC UA. O Eclipse E3 foi utilizado para monitoramento em tempo real, registro de dados em banco de dados e geração de relatórios exportáveis ao Excel. Os testes realizados incluíram variações de *setpoint* (48, 109 e 158 litros), cujos resultados mostraram um bom desempenho do sistema quanto à estabilidade, tempo de acomodação, tempo de subida e *overshoot*. Foi possível observar que o *overshoot* diminui à medida que o *setpoint* aumenta, ao passo que o tempo de acomodação cresce, sugerindo uma dinâmica mais lenta para valores altos de referência. Os resultados indicam que a abordagem utilizada é eficaz para validar o desempenho de controladores PID em ambiente simulado, permitindo análise segura e econômica antes de uma eventual aplicação em planta física. Conclui-se que o sistema de controle projetado apresentou um comportamento estável e coerente com as expectativas teóricas, demonstrando a viabilidade da utilização de simulações integradas para o desenvolvimento e teste de sistemas de automação industrial.

Palavras-chave: simulação computacional; controle automático; comunicação OPC UA; estratégias de controle;

ABSTRACT

This Final Paper aims to develop an industrial automation system in a virtual environment focused on the level control of a tank. Three main software tools were used: FACTORY IO for plant simulation, CODESYS for implementing the PID controller in a virtual PLC, and Elipse E3 as the supervisory system and human-machine interface (HMI). The adopted methodology included mathematical modeling of the plant based on data extracted from the simulation, allowing the identification of a first-order transfer function with time delay. Based on this model, the Ziegler-Nichols method was applied to tune the PID controller parameters. The control logic was implemented using Ladder language in CODESYS and integrated with the simulated scene in FACTORY IO through the OPC UA protocol. Elipse E3 was used for real-time monitoring, data recording in a database, and report generation, with export capabilities to Excel. The conducted tests included different setpoints (48, 109, and 158 liters), and the results showed good system performance regarding stability, settling time, rise time, and overshoot. A reduction in overshoot was observed as the setpoint increased, while settling time grew, indicating slower dynamics at higher reference values. The results indicate that the adopted approach is effective in validating PID controller performance in a simulated environment, enabling safe and economic analysis before actual physical application. It is concluded that the designed control system exhibited stable behavior and met theoretical expectations, demonstrating the feasibility of integrated simulations for developing and testing industrial automation systems.

Keywords: computer simulation; automatic control; OPC UA communication; control strategies;

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Cena para o controle de nível (<i>level control</i>).....	18
Figura 2 - Caixa de comandos encontrada na cena controle de nível.	19
Figura 3 - Ambiente de desenvolvimento do <i>software</i> CODESYS.	20
Figura 4 - Diagrama Ladder do controle de nível – Parte 1.	21
Figura 5 - Diagrama Ladder do controle de nível – Parte 2.	22
Figura 6 - Diagrama Ladder do controle de nível – Parte 3.	23
Figura 7 - Tela de comando e supervisão do <i>software</i> Elipse E3.	24
Figura 8 - Relatório da aplicação desenvolvida no Elipse E3	25
Figura 9 - Histórico contendo as variáveis do processo feito no <i>software</i> Elipse E3.....	25
Figura 10 - Banco de dados do processo criado no <i>software</i> Elipse E3	26
Figura 11 - Curva “S” para modelos de primeira ordem com atraso.	27
Figura 12 - Gráfico do nível (em litros) em malha aberta ao longo do tempo.	28
Figura 13 - Resposta ao degrau do modelo $G(s)$ da planta.....	28
Figura 14 - <i>Interface</i> do operador no Elipse E3.	30
Figura 15 - Gráficos com o SP=48 no Elipse E3 e no Excel.....	31
Figura 16 - Gráficos com o SP=109 litros no Elipse E3 e no Excel.	32
Figura 17 - Gráficos com o SP=158 litros no Elipse E3 e no Excel.	33
Figura 18 – Evolução dos parâmetros do sistema para diferentes setpoints.	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Método de Ziegler–Nichols.....	29
Tabela 2 - Comparações entre os gráficos do ElipseE3 e do Excel	Error! Bookmark not defined.
Tabela 3 - Comparações entre os gráficos do ElipseE3 e do Excel para um SP de 109 litros.	32
Tabela 4 - Comparações entre os gráficos do ElipseE3 e do Excel para um SP de 158 litros.	33

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CLP	Controlador Lógico Programável
CODESYS	<i>Controller Development System</i>
IHM	<i>Interface Homem-Máquina</i>
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
IFPB	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba
IL	<i>Instruction List</i>
LD	<i>Ladder Diagram</i>
MPC	<i>Model Predictive Control</i>
OPC UA	OPC UA
PID	Proporcional, Integral e Derivativo
PLC	<i>Programmable Logic Controller</i>
PV	<i>Process Variable</i> (variável de processo)
SCADA	<i>Supervisory Control and Data Acquisition</i>
SFC	<i>Sequential Function Chart</i>
SP	<i>Setpoint</i>
ST	<i>Structured Text</i>
Td	Tempo Derivativo
T _I	Tempo integrativo
UA	<i>Unified Architecture</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

$G(s)$ – Função de transferência da planta

K – Ganho estático da planta

L – Tempo de atraso do sistema

T – Constante de tempo do sistema

T_i – Tempo integral do controlador PID

T_d – Tempo derivativo do controlador PID

PV – Valor de processo (Process Variable)

SP – Valor de referência (Setpoint)

MV – Variável manipulada (Manipulated Variable)

s – Variável complexa de Laplace

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVOS	14
2.1	OBJETIVO GERAL	14
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3	REVISÃO DE LITERATURA	15
3.1	AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL	15
3.2	CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL (CLP)	15
3.3	O SOFTWARE CODESYS	15
3.4	NORMA IEC 61131-3	16
3.5	FACTORY IO	16
3.6	O SOFTWARE ELIPSE E3	17
4	METODOLOGIA	18
4.1	SIMULAÇÃO NO FACTORY IO	18
4.1.1	Materiais utilizados na cena	19
4.2	CODESYS	19
4.2.1	Simulação no CODESYS	20
4.3	ELIPSE E3	23
4.4	MODELAGEM DO SISTEMA E SINTONIA DO CONTROLADOR PID	26
5	RESULTADOS E ANÁLISES	30
6	CONCLUSÃO	35
	REFERÊNCIAS	36
	ANEXO A – FUNCIONAMENTO DA APLICAÇÃO	37

INTRODUÇÃO

No cenário tecnológico contemporâneo, a automação industrial se destaca como uma das áreas de maior dinamismo e inovação. A automação vem desde antes da Primeira Revolução Industrial, com os processos de tecelagem mecânica, com o invento da máquina a vapor inglesa durante o início da Primeira Revolução Industrial causou-se um impulsionamento no descobrimento de novas tecnologias visando aumentar a capacidade de produção por tempo, considerando que antes da invenção das máquinas apenas se fabricava um produto por vez, a automação representou um aumento substancial no volume, e conseqüentemente, no lucro.

Com o passar do tempo as indústrias começaram a investir ainda mais nas máquinas, com sistemas automáticos cada vez mais inteligentes e menos dependente da mão-de-obra humana. Segundo Silveira e Lima (2003) uma boa definição para automação, é um conjunto de técnicas destinadas a tornar automáticas a realização de tarefas, deixando-se livre da atividade braçal humana, além da adição de segurança do serviço ter aumentado com o sensoriamento e as capacitações que esses trabalhadores têm participado para cuidarem da operação feita pela máquina.

Na vasta gama de processos industriais, o controle de nível assume um papel crucial, impactando diretamente a economia de recursos naturais, o potencial de reaproveitamento e a redução de custos operacionais. Esse controle de nível pode ser obtido através de diversos métodos, dependendo-se apenas de qual será o comportamento do sistema para o qual se deseja projetar. No presente trabalho, o sistema de estudo é o controle de nível, o qual se enquadra em um sistema com o comportamento linear e invariante no tempo, podendo-se utilizar o controle PID (Proporcional, Integral e Derivativo) que possibilita com o que o nível do líquido e o fluxo atinja-se valores desejados.

A fim de garantir a segurança durante o ajuste do controlador em um ambiente físico contendo tanques, motores, sensores e atuadores, a metodologia adotada neste trabalho envolve testes de validação em *softwares* de simulação capturando-se os parâmetros e fazendo a modelagem matemática do sistema, nesse sentido um desses *softwares* que simulam ambientes fabris é o FACTORY IO da empresa Real Games, onde-se encontra uma cena específica contendo os elementos necessários para um controle de nível contendo o tanque.

Complementarmente outro *software* de simulação é o CODESYS (desenvolvido e comercializado pelo CODESYS Group) que possibilita o controle do nível via Controle Lógico Programável (CLP) virtual seguindo as normas internacionais da *International Electrotechnical Commission*, IEC- 61131-3 (2013) que padroniza as linguagens de programação de CLP's.

Integrando o ambiente de simulação, a plataforma Elipse E3 (da empresa Elipse *Software*) desempenhará um papel crucial como o sistema de supervisão e a *Interface Homem-Máquina* (IHM) para o controle de nível virtual desenvolvido neste trabalho. O Elipse E3, abundantemente difundido na indústria para o monitoramento e o controle de processos, proporciona uma visualização em tempo real das variáveis do processo da planta simulada no FACTORY IO como o nível do líquido e o estado dos atuadores. Essa visualização em tempo real acontece com a comunicação do PID implementado no CODESYS, aquisição dos dados do processo, a apresentação de tendências, a geração de alarmes (se aplicável) e a interação com o sistema para fins de análise e avaliação do desempenho do controle implementado. Com isso, o Elipse E3 funcionará como uma janela de operação e monitoramento do controle de nível virtual aonde os operadores e analistas, analisaram e tomaram decisões futuras a respeito dos dados gerados.

O presente trabalho tem por objetivo realizar a automação de um processo industrial de controle de nível simulado no ambiente do FACTORY IO, mostrando o passo a passo desde a modelagem matemática até a implementação do controlador Proporcional Integrador e Derivativo (PID) em um CLP virtual na plataforma do CODESYS, integrado ao *software* de monitoramento e supervisão, no caso o Elipse E3.

1 OBJETIVOS

Nesta seção são apresentados os objetivos do Trabalho de Conclusão do Curso (TCC).

1.1 OBJETIVO GERAL

Realizar a automação industrial em ambiente virtual de uma planta de controle de nível, utilizando-se o controlador PID, integrado a um sistema de monitoramento e aquisição de dados via IHM no Elipse E3.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para se atingir o objetivo geral serão determinadas as seguintes ações:

- levantar os parâmetros e fazer a modelagem matemática do sistema em questão para a simulação no FACTORY IO;
- criar uma tela que vai monitorar e adquirir os dados do processo no Elipse E3;
- analisar os dados que estão sendo gerados na aplicação simulada no FACTORY IO e monitorada no Elipse E3;
- avaliar os resultados da simulação quanto à estabilidade, tempo de resposta e erro em regime permanente do controlador PID para inferir a funcionalidade em um processo real.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Nesta seção estão apresentados principais conceitos abordados nesse Trabalho.

2.1 AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

Segundo Goeking (2010, p. 71) “a automação surgiu como o caminho para a redução da participação da “mão humana” sobre os processos industriais” tornando os processos fabris cada vez mais automáticos e com capacidades de produção cada vez mais elevadas. Em outras palavras a automação busca substituir processos manuais repetitivos e complexos por sistemas tecnológicos, buscando aumentar a eficiência, a precisão, velocidade de produção. Na indústria moderna, a automação está presente desde dispositivos simples como lâmpadas inteligentes até sistemas mais sofisticados a exemplo de robôs colaborativos, como também no controle de nível tema apresentado nesse trabalho.

2.2 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL (CLP)

O controlador lógico programável ou CLP de acordo com a empresa Altus (2025), “é um dispositivo eletrônico com *hardware* e *software* que permite comandar aplicações industriais. É um produto similar a um computador onde se é possível inserir um comando para realizar atividades industriais específico”, utilizando-se de suas entradas e saídas, pode-se controlar diversos equipamentos no ramo industrial a partir de linguagens de programação.

No contexto desse trabalho, o CLP virtual, implementado no *software* CODESYS seguindo a norma IEC 61131-3 (2013), será o responsável por executar o algoritmo de controle PID que atuará sobre os atuadores da planta de controle de nível simulada no FACTORY IO.

2.3 CODESYS

Segundo Souza e Pereira (2015, p. 3) “O CODESYS é uma plataforma de *software* especialmente projetado para atender as necessidades diferentes de projetos modernos de automação industrial. O *software* foi desenvolvido com os requisitos da norma IEC 61131-3”. Essa característica garante a padronização e a portabilidade do código de controle. Acrescentado a isso o CODESYS oferece um ambiente de desenvolvimento integrado a outras ferramentas e como também a escolha da linguagem de programação padronizada seguindo a norma IEC 61131-3 (2013) sendo assim possível fazer o teste e a validação da lógica de controle antes da implementação física. No contexto deste trabalho, o CODESYS será utilizado para

desenvolver e simular o controlador PID na linguagem de programação conhecida como *Ladder* (Diagrama de contatos), devido sua facilidade de compreensão e a padronização dos símbolos que permite a comunicação e o entendimento entre os diferentes profissionais envolvidos, que atuará sobre o sistema de controle de nível virtual no FACTORY I/O.

2.4 NORMA IEC 61131-3

Com essa padronização de acordo com a norma IEC 61131-3 (2013) possibilita trabalhar com teste utilizando o CLP virtual no software CODESYS ao invés de um CLP físico. Outra característica que essa norma traz é opções de 5 tipos de linguagens de programação de CLP: Diagrama de contatos (*Ladder Diagram - LD*), Diagrama de Blocos Funcionais (*Function Block Diagram - FBD*), Texto Estruturado (*Structured Text - ST*), Lista de Instruções (*Instruction List - IL*) e Diagrama de Função Sequencial (*Sequential Function Chart - SFC*), concedendo assim uma flexibilidade aos desenvolvedores e facilitando a portabilidade entre as diferentes plataformas.

Adicionalmente a plataforma oferece recursos como a criação de uma tela *Interface Humano-Máquina (IHM)* através da qual se pode interagir com o sistema simulado, captar os dados das variáveis e realizar o monitoramento real da simulação (Souza; Pereira, 2015).

2.5 O SOFTWARE FACTORY IO

De acordo com a FACTORY IO (2024), o *software* FACTORY IO é uma simulação de fábrica 3D para o aprendizado de tecnologias de automação. Projetado para ser fácil de usar, permite a construção rápida de uma fábrica virtual usando uma seleção de peças industriais comuns.” A partir desse simulador de ambientes fabris é possível a interação dos usuários a sensores e atuadores encontrados nas industriais além de ainda conseguir se comunicar com o CLP, possibilitando o controle de diversos processos industriais que são criados dentro desse software.

Dentro da plataforma são encontradas cerca de 21 cenas prontas que vão desde o nível básico ao avançado onde o usuário poderá testar seus conhecimentos. Esse *software* permite também ao usuário a criação própria de uma cena usando as bibliotecas existentes ao lado na *interface* do FACTORY IO que tem elementos como esteiras, sensores de todos os tipos, elevadores, caixas, botoeiras dentre outros (FACTORY IO, 2024).

2.6 O SOFTWARE ELIPSE E3

O Elipse E3 configura-se como uma plataforma robusta de *software* de supervisão, monitoramento e aquisição de dados (SCADA/HMI). Segundo Manzini, Minhoni e Florian, (2024, p. 12) “este *software* oferece uma *interface* gráfica intuitiva e amigável que permite aos usuários criarem, configurarem e monitorarem sistemas de automação de forma eficiente”.

Esse *software* produzido pela Elipse, permite a visualização em tempo real das variáveis do processo simulado no FACTORY IO, como o nível do líquido e o estado dos atuadores. Essa comunicação acontece através do protocolo OPC UA (*Open Platform Communications Unified Architecture*), o qual consegue transmitir os envios de comando e a aquisição de dados do processo para monitoramento e análise, isso integrado ao CLP virtual implementado no CODESYS. As ferramentas de visualização e os recursos de registro de dados do Elipse E3 serão essenciais para avaliar o desempenho do controlador PID implementado.

3 METODOLOGIA

Nesse capítulo é apresentado a sequência lógica para se realizar a comunicação entre os três *softwares* apresentados anteriormente e o monitoramento dos dados que serão extraídos da aplicação estudada.

Esta pesquisa aplicada será conduzida com o objetivo de desenvolver e implementar um sistema integrado para automação e supervisão de um processo de controle de nível industrial, desde a modelagem matemática, implementação do PID no CODESYS, supervisão e coleta de dados no Elipse E3 e a integração desses *softwares* a cena da plataforma do FACTORY IO.

3.1 SIMULAÇÃO NO FACTORY IO

Na Figura 1 é ilustrado a cena do tanque de nível (Cena 12 - *Level Control*) disponível no *software* FACTORY IO. Trata-se da simulação industrial de um tanque contendo líquido cujo seu nível será controlado. O objetivo dessa cena é trabalhar com o controlador PID para alcançar valores desejados do nível do líquido, atuando simultaneamente com as válvulas de enchimento e descarga até atingir o valor do volume do líquido definido pelo usuário.

Figura 1 - Cena para o controle de nível (*level control*).



Fonte: Autoria própria.

4.1.1 Materiais utilizados na cena

A cena *level control* exposta na Figura 1 do FACTORY IO já é definida com os elementos necessários para a simulação do controle de nível. Um desses componentes é a válvula de enchimento (normalmente aberta) que regula a vazão de entrada do líquido no reservatório de acordo com um sinal de tensão variando de 0 a 10 V proveniente da entrada do CLP. Igualmente a válvula de descarga (normalmente aberta) a qual controla a vazão de saída, esvaziando o tanque em razão do sinal de tensão recebido. O sensor de nível é o responsável de fazer a leitura contínua do nível do reservatório, informação a qual é de suma importância para o sistema de controle. Outro sensor é de medição de vazão que monitora a taxa de escoamento na saída da válvula de descarga. Por último, o painel de controle onde o operador irá interagir com o sistema através dos botões *Start* (habilita o sistema), *PV* (para definir o valor do nível), *Reset* (zerar o valor de PV) e desliga (encerra a operação), a lógica se concentra nas duas válvulas e na leitura do sensor de nível. Esses elementos são ilustrados na Figura 2.

Figura 2 - Caixa de comandos encontrada na cena controle de nível.



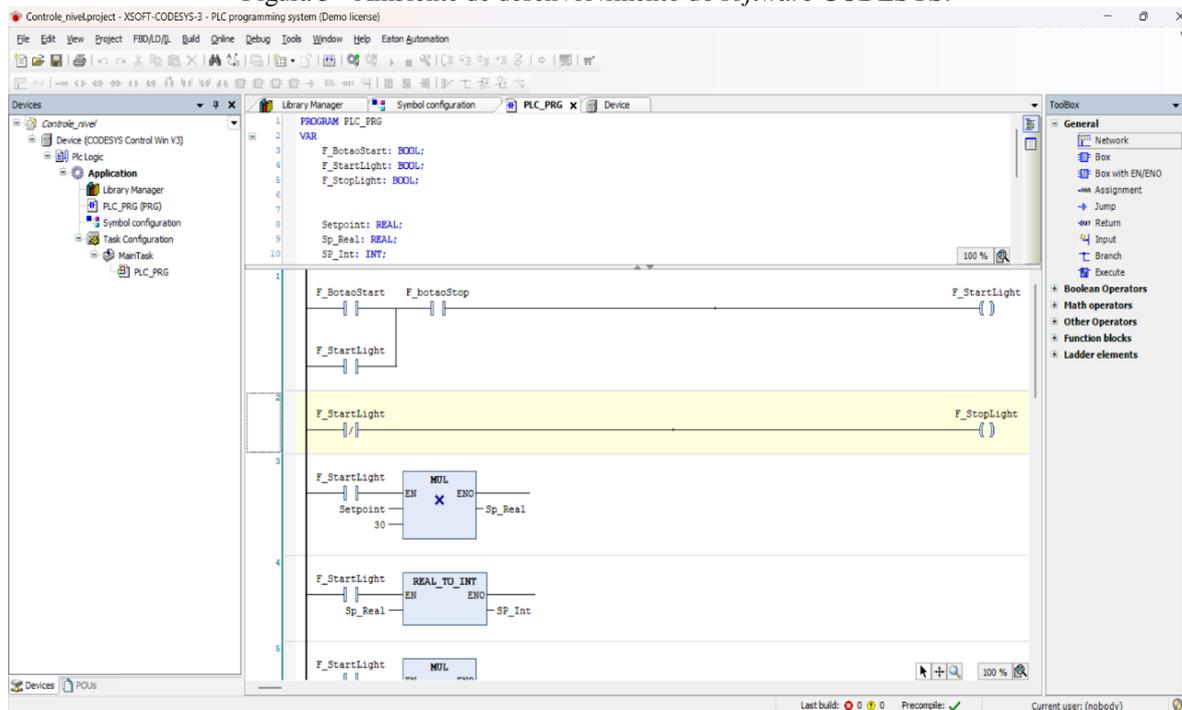
Fonte: Autoria Própria.

3.2 CODESYS

Nesse ambiente de desenvolvimento foi feita a implementação do controlador PID utilizando a linguagem Ladder. Este controlador terá a funcionalidade de receber o valor do nível de líquido exportado da simulação do FACTORY IO, isso via protocolo OPC. Com base no *setpoint* informado e no valor real, a diferença é calculada pelo algoritmo do PID que aplicará os sinais de controle necessário para modular a abertura das válvulas de enchimento e descarga no FACTORY I/O, como os sinais de tensão enviados através do protocolo OPC UA.

No CODESYS exibido na Figura 3, foi efetuado um ajuste fino nos ganhos do controlador (K_p , K_i e K_d), para se alcançar uma resposta do sistema que apresente uma boa estabilidade, erro quase nulo em regime permanente e tempo de resposta adequado. Com o CLP virtual do CODESYS facilitará a simulação e o teste de como o controlador se comportará antes da integração da plataforma FACTORY IO, pré-dispondo a validação da lógica e a iniciação dos parâmetros dos ganhos proporcional, integral e derivativo.

Figura 3 - Ambiente de desenvolvimento do *software* CODESYS.



Fonte: Autoria Própria.

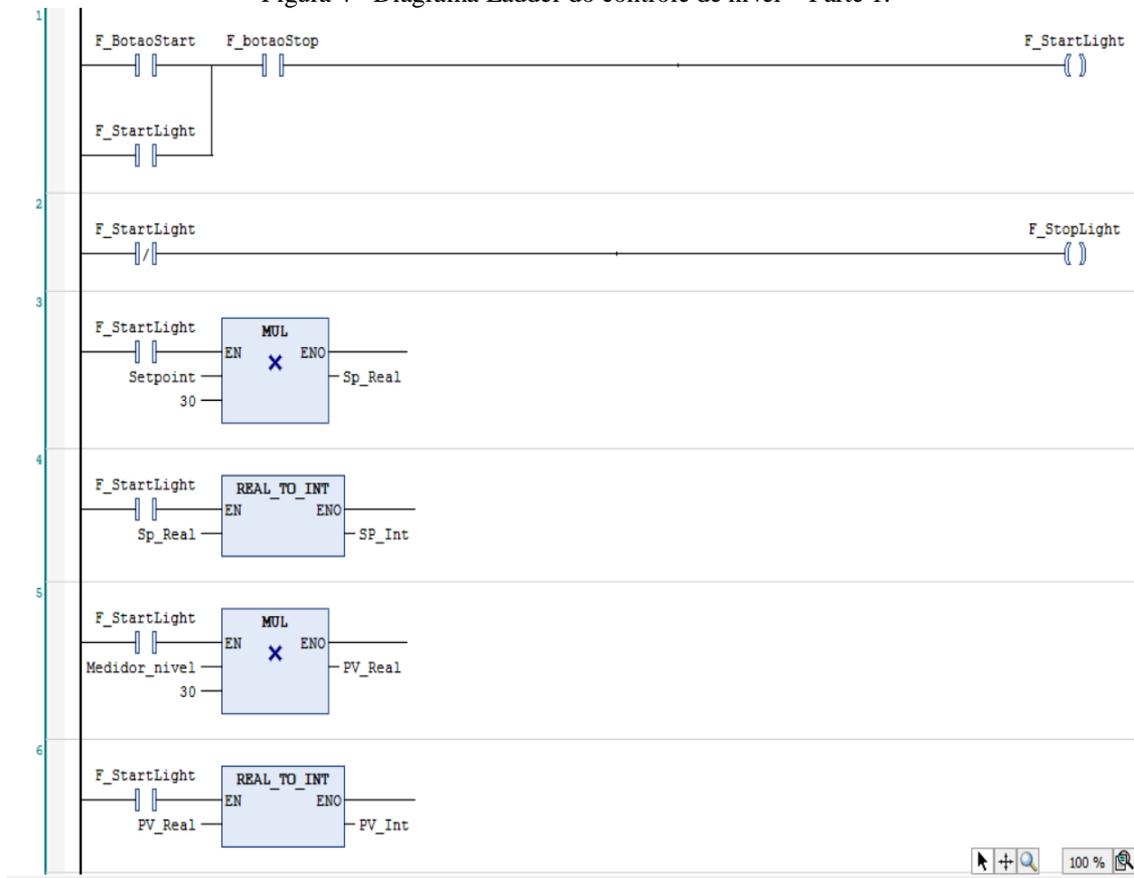
3.2.1 Simulação no CODESYS

No presente trabalho o *software* CODESYS foi utilizado para realizar os comandos necessários para o pleno funcionamento da cena 12 (controle de nível) do FACTORY IO. Os comandos foram implementados em linguagem Ladder.

A linguagem Ladder escolhida nesse projeto foi devido a sua praticidade e o seu uso amplamente propagado nas indústrias, essa linguagem de programação se baseia no princípio dos contatos elétricos o qual simula um circuito elétrico com contatos e bobinas.

O programa mostrado na Figura 4 se inicia ao se pressionar o botão *Start*, habilitando assim o sistema, antes disso a luz vermelha já estará ativa informando ao operador que o sistema está desligado. Ao pressionar o botão *Start* a luz vermelha irá desligar e a luz verde será ativada, indicando ao operador que o sistema está iniciado. A partir disso o usuário vai escolher o *Setpoint* com a ajuda do potenciômetro. Na linha 3, o bloco de “MUL” entrará em funcionamento após a luz verde acender. Esse bloco irá receber o valor do *Setpoint* escolhido pelo usuário e multiplicará por 30 e o valor será armazenado na variável “Sp_real”.

Figura 4 - Diagrama Ladder do controle de nível – Parte 1.

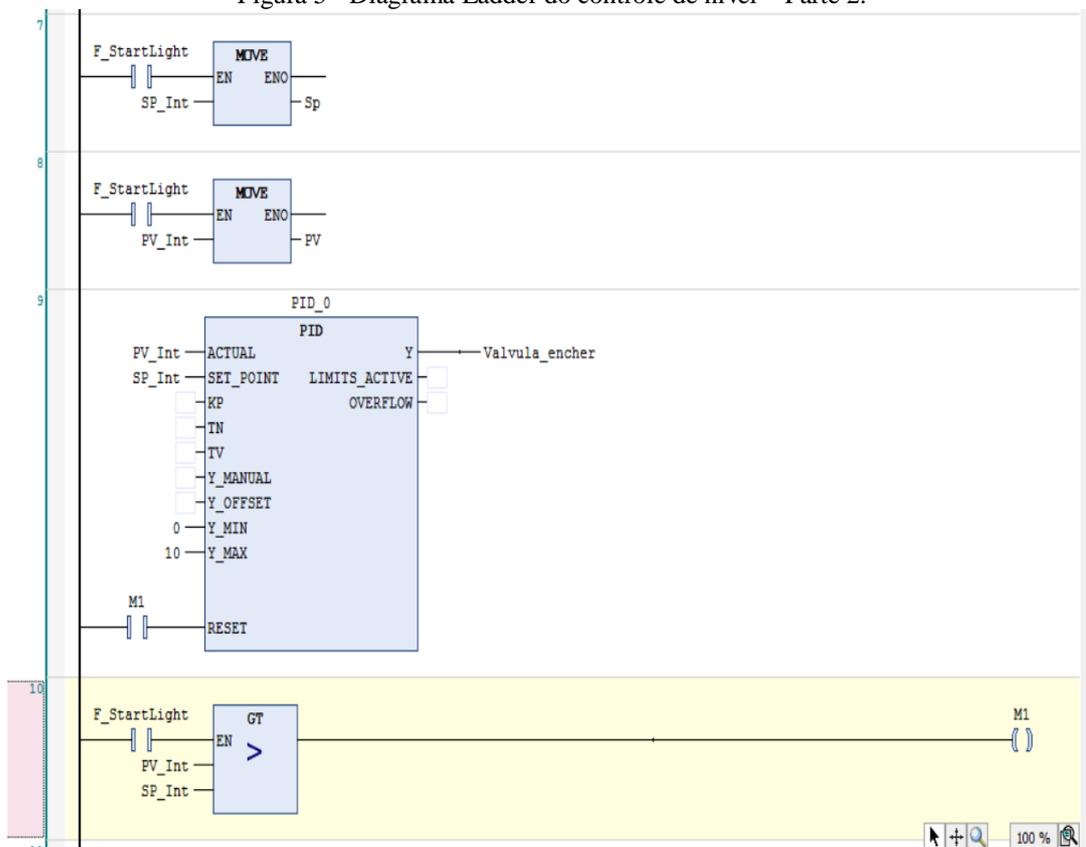


Fonte: Autoria Própria.

Na linha 4 o valor de “Sp_real” é convertido em “Sp_int” no caso em um número inteiro. Continuando, na linha 5, o valor lido pelo sensor de nível é convertido em “Pv_Real”, número real repetindo o mesmo processo que aconteceu com o *Setpoint*, esse valor de “Pv_real” será transformado em número inteiro “PV_int” na linha 6.

Nas linhas 7 e 8 exibidas na Figura 5 tem-se um bloco “MOVE” o qual irá pegar as variáveis “Sp_int” e “Pv_int” e movê-las para as saídas “Sp” e “Pv”, respectivamente. Na sequência, na linha 9 temos o bloco do controlador PID o qual tem como entradas as variáveis, “Setpoint_int”, escolhida pelo operador e a variável “Pv_int” a qual é o valor do nível atual (medido), com essas duas variáveis o controlador PID influenciará na saída (sinal de erro), modulando assim o sinal que chegará na bobina da válvula de encher que é a saída do sistema. O “RESET” que se observa no bloco PID é ativado por uma memória M1 que vem da linha 10, que contém um bloco comparador o qual se habilita devido a variável “Start_light” está em nível lógico alto, o bloco comparador recebe duas variáveis o “Setpoint_int” e o “Pv_int”, depois faz as comparações entre as duas e se o “Pv_int” for maior que o “Setpoint_int” o bloco ativa a memória M1 e a mesma reinicializa o controlador PID, o que desliga a válvula de enchimento e aciona a válvula de descarga. Caso contrário — ou seja, se o nível medido for menor que o *setpoint* — o controlador PID continuará enviando o sinal de controle para manter a válvula de enchimento ativada.

Figura 5 - Diagrama Ladder do controle de nível – Parte 2.

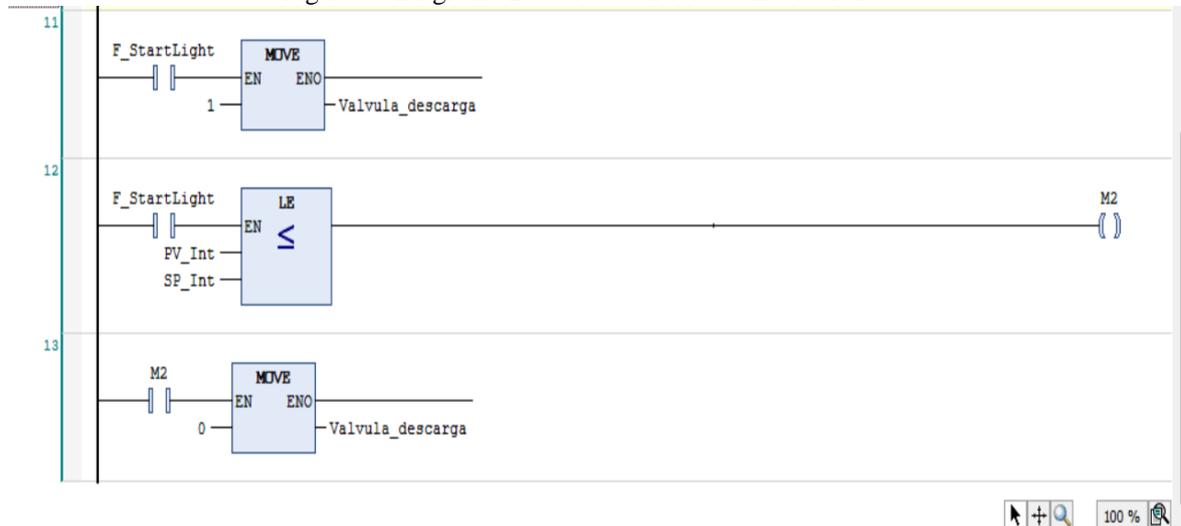


Fonte: Autoria Própria.

Na linha 11 da Figura 6 a válvula de descarga é acionada pelo bloco “MOVE” que está habilitado com a variável “Start_light”, o bloco força a saída ir para nível lógico alto.

Posteriormente na linha 12 tem um bloco comparador o qual verificará se a condição de “Pv_int” ser menor que o “Sp_int” caso verdadeira, habilita a memória M2 que na linha 13, o bloco “MOVE” força a saída que é a válvula de descarga a nível lógico baixo.

Figura 6 - Diagrama Ladder do controle de nível – Parte 3.



Fonte: Autoria Própria.

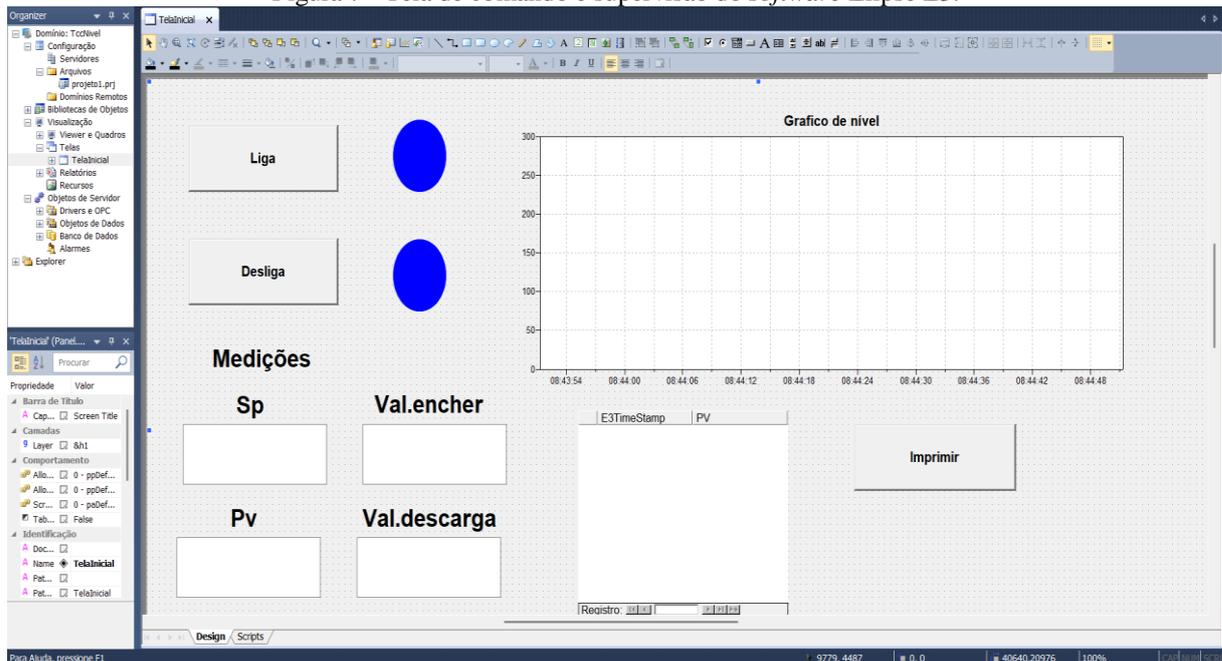
3.3 ELIPSE E3

Para fazer a parte de supervisão e interação do processo simulado, utiliza-se a plataforma do Elipse E3. Dentro do ambiente de desenvolvimento será produzido uma *interface*-humano-máquina (IHM) personalizada a qual irá servir para o acompanhamento das variáveis da planta simulada no FACTORY IO, como as válvulas de enchimento, descarga e o nível do tanque. Como os *softwares* estão integrados e a comunicação feita pelo OPC UA é possível o Elipse E3 capturar os dados do sensor de nível e o *setpoint* estipulado pelo usuário para o controlador de PID. Completando-se a aplicação, a IHM criada no Elipse E3 também contará com gráfico de tendências do controle de nível ao longo do tempo, acarretando uma análise do comportamento do sistema de controle em diversas situações e o ajuste necessário para os parâmetros do PID.

Essa supervisão irá conter indicadores visuais dos estados das variáveis e alarmes, tornado assim uma visão completa e intuitiva do processo de controle de nível. Na Figura 7 é ilustrada a tela de comando e supervisão ara o controle do nível feita usando o Vijeo Designer da Schneider Electric.

O monitoramento das variáveis conta com um banco de dados que recebe os valores das variáveis do sistema como: “Pv, Setpoint” e o tempo atual que está sendo implementado o controle de nível, a partir desse banco é feito um tratamento dos dados mensurados e na sequência são plotados em tempo real.

Figura 7 - Tela de comando e supervisão do *software* Elipse E3.



Fonte: Autoria Própria.

Na tela de supervisão visualizada na Figura 7 SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) é possível visualizar o gráfico do nível medido, os valores instantâneos da vazão da válvula de enchimento, da vazão da válvula de descarga, o valor do *setpoint* de nível e o valor do nível medido, além dos botões para ligar o sistema e seus estados (ligado/desligado).

A aplicação desenvolvida no Elipse E3 conta com o histórico de operação do processo, sendo possível imprimir um relatório dos dados medidos. O relatório é exportado no formato de tabelas, arquivo do Excel (.csv), tal relatório possui as informações como data atual com ano, mês, dia, hora, minuto e segundo capturados pela variável *E3Timestamp* e a informação da variável PV atualizada a cada segundo. Na Figura 8 é ilustrado como é gerado o relatório do histórico operacional.

Figura 8 - Relatório da aplicação desenvolvida no Elipse E3

Relatório E3

16/05/2025 10:31:57	0
16/05/2025 10:31:58	0
16/05/2025 10:31:59	0
16/05/2025 10:32:00	0
16/05/2025 10:32:01	0
16/05/2025 10:32:02	0
16/05/2025 10:32:03	0
16/05/2025 10:32:04	0
16/05/2025 10:32:05	0
16/05/2025 10:32:06	0
16/05/2025 10:32:07	0
16/05/2025 10:32:08	0
16/05/2025 10:32:09	0
16/05/2025 10:32:10	0
16/05/2025 10:32:11	0
16/05/2025 10:32:12	0
16/05/2025 10:32:13	2
16/05/2025 10:32:14	9

Fonte: Autoria Própria.

Com os valores dessas duas variáveis (tempo e nível medido) o usuário conseguirá tratar os dados exportados para o Excel e plotar o gráfico.

Esse relatório por sua vez está vinculado a um histórico como mostrado na Figura 9 e ele está inserido em um banco de dados sendo possível a criação do relatório.

Figura 9 - Histórico contendo as variáveis do processo feito no *software* Elipse E3.

Nome	Tipo	Fonte	Taman...	Campo	Ordem
Hist1					
Fields					
E3TimeStamp	<input checked="" type="checkbox"/> 3 - fdDateTim		0		
Sp	<input checked="" type="checkbox"/> 1 - fdInteger	DriverOPC1.GrupoOPC1.Sp.Value	0		
PV	<input checked="" type="checkbox"/> 1 - fdInteger	DriverOPC1.GrupoOPC1.PV.Value	0		
Medidor_fluxo	<input type="checkbox"/> 1 - fdInteger	DriverOPC1.GrupoOPC1.Medidor_fluxo.Valu	0		
Medidor_nivel	<input type="checkbox"/> 1 - fdInteger	DriverOPC1.GrupoOPC1.Medidor_nivel.Valu	0		
Valvula_descarga	<input type="checkbox"/> 1 - fdInteger	DriverOPC1.GrupoOPC1.Valvula_descarga.1	0		
Valvula_encher	<input type="checkbox"/> 1 - fdInteger	DriverOPC1.GrupoOPC1.Valvula_encher.Va	0		
PrimaryKey					
Campo_E3TimeStarr				E3TimeStamp	0 - foAscendir
Campo_Sp				Sp	0 - foAscendir
Campo_PV				PV	0 - foAscendir

Fonte: Autoria Própria.

Com o histórico criado com as variáveis do processo, agora é só vincular a um banco de dados, conforme ilustrado na Figura 10.

Figura 10 - Banco de dados do processo criado no *software* Elipse E3



Fonte: Autoria Própria.

Esse banco de dados é criado escolhendo-se o local de conexão. “O Elipse E3 possui conexão nativa com os bancos de dados Access, Oracle, SQL Server, PostgreSQL e MySQL”, conforme afirma Rossi (2019).

3.4 MODELAGEM DO SISTEMA E SINTONIA DO CONTROLADOR PID

Para sintonização do controlador PID, necessita-se de uma etapa preliminar fundamental que é a identificação da função de transferência da planta (tanque). No presente estudo, a obtenção dessa função foi realizada por meio de uma abordagem experimental utilizando o simulador FACTORY IO integrado ao outro simulador CODESYS.

O processo envolveu a inicialização da cena *level control* no FACTORY IO, apertando-se o botão *start* o qual habilita o sistema e na sequência foi definido o valor do *setpoint*, os dados gerados na aplicação são registrados automaticamente nas suas respectivas variáveis no CODESYS.

No ambiente ELIPSE E3, configurou-se o histórico dos dados mensurados, vinculados ao banco de dados da Microsoft Access. Posteriormente, criou-se um objeto do tipo consulta para estruturar uma tabela com os dados advindos do histórico, incluindo “E3TimeStamp” (para registro do tempo), “Setpoint” e “PV”. Para a apresentação desses dados em tempo real e a geração de relatórios, utilizou-se um objeto tipo relatório, o qual foi vinculado ao objeto consulta. Dessa forma, o relatório exibiu os valores atualizados de data, hora e PV (variável manipulada).

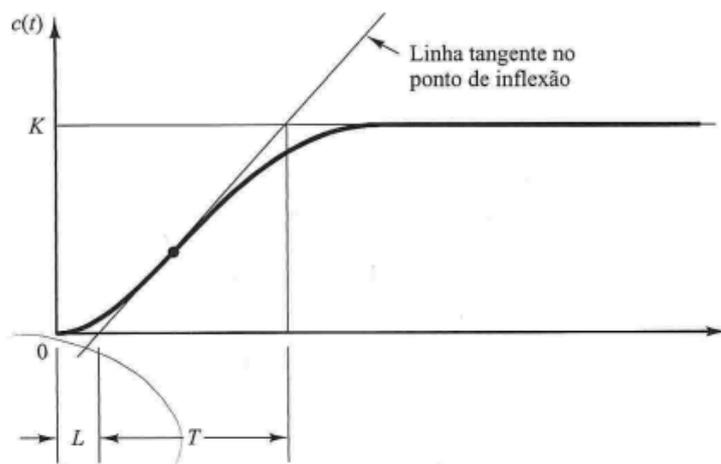
Adicionalmente, implementou-se um botão imprimir que, ao ser pressionado, executa um *script* que foi incorporado em suas propriedades um *VBScript (Visual Basic Scripting Edition)*, gerando um arquivo no formato .xlsx. Este arquivo, aberto no Microsoft Excel, permite a utilização dos dados gerados na aplicação para plotagem de gráficos. A análise desse

gráfico permitiu observar um comportamento característico de uma função de transferência de primeira ordem com atraso, o que fundamenta a aplicação do primeiro método de Ziegler-Nichols para a sintonização do controlador PID.

Tomando como referência a curva “S” (Ogata, 2009) da Figura 11, onde K é o ganho direto, L é o atraso e T é o tempo que a saída leva para atingir 90% do ganho direto. Esta curva leva em consideração um modelo de primeira ordem com atraso descrito pela Equação (1).

$$G(s) = \frac{K * e^{-L*s}}{T * s + 1} \quad (1)$$

Figura 11 - Curva “S” para modelos de primeira ordem com atraso.



Fonte: Ogata (2009).

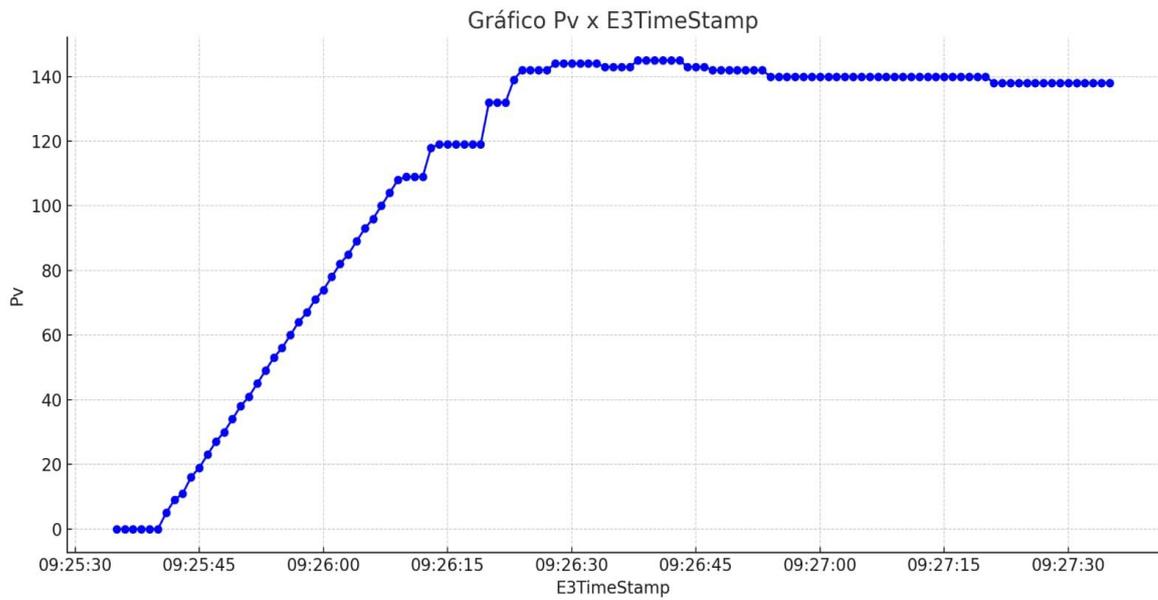
Na Figura 12 é ilustrada a resposta em malha aberta para o nível do tanque de líquido, o gráfico foi plotado tomando os dados medidos e exportados a partir da aplicação feita no Elipse E3. A partir da análise dos dados da resposta ao degrau, observamos que o nível inicial da planta era de 0,0 litros, enquanto o nível final atingido foi de 138 litros. Assim, o ganho direto K vale 138 litros. Do gráfico da Figura 11, temos um atraso de 6 segundos ($L=6$ segundos) e o tempo para a resposta atingir 90% do degrau de 23 segundos ($T=29-6$).

Com base na identificação experimental dos parâmetros, o modelo estimado em função de transferência da dinâmica do tanque é dado pela Equação (2).

$$G(s) = \frac{138 * e^{-6*s}}{23 * s + 1} \quad (2)$$

Da Equação (2), percebe-se que o modelo da planta apresenta um atraso de 6 segundos, um polo em $s=1/23$ e ganho direto de 138.

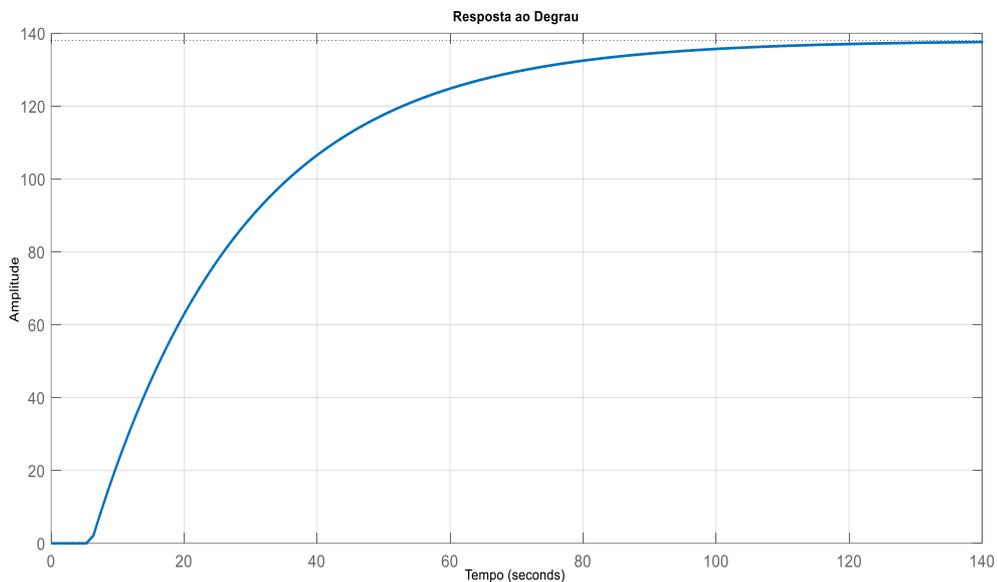
Figura 12 - Gráfico do nível (em litros) em malha aberta ao longo do tempo.



Fonte: Autoria Própria.

Na Figura 13 é ilustrado a resposta ao degrau do modelo $G(s)$, onde é possível observar que o modelo consegue mapear com eficácia os dados mensurados.

Figura 13 - Resposta ao degrau do modelo $G(s)$ da planta.



Fonte: Autoria Própria.

Agora com o conhecimento da função de transferência que rege o sistema, aplica-se o primeiro método de Ziegler-Nichols para encontrar os valores dos ganhos do controlador, tomando como referência a Tabela 1.

Tabela 1 - Método de Ziegler–Nichols.

Tipo de controlador	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{T}{K * L}$	-	-
PI	$0,9 * \frac{T}{K * L}$	$3,3 * L$	-
PID	$1,2 * \frac{T}{K * L}$	$2 * L$	$0,5 * L$

Fonte: Ziegler e Nichols (1942).

Observando os parâmetros encontrados e substituindo na Tabela 1 para o controlador PID, encontra-se os seguintes ganhos:

$$K_p = 1,2 * \frac{23}{138 * 6} \rightarrow K_p = 0,0333$$

$$T_i = 2 * 6 \rightarrow T_i = 12$$

$$T_d = 0,5 * 6 \rightarrow T_d = 3$$

Com os valores do tempo integral (T_i) e do tempo derivativo (T_d), encontra-se os valores dos ganhos integral e derivativo do controlador.

$$K_i = \frac{K_p}{T_i} \rightarrow K_i = \frac{0,0333}{12} \rightarrow K_i = 0,0027$$

$$K_d = K_p * T_d \rightarrow K_d = 0,0333 * 3 \rightarrow K_d = 0,1$$

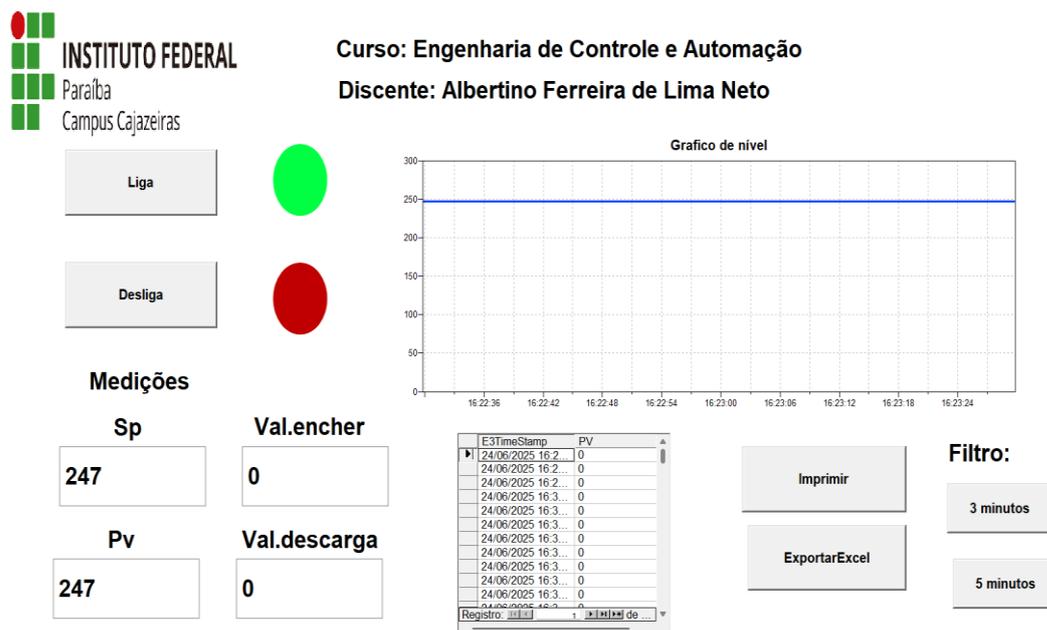
A partir dos ganhos proporcional, integral e derivativo do controlador, determina-se a função de transferência do controlador PID como sendo a descrita pela Equação (3).

$$G_c(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s = 0,0333 + \frac{0,0027}{s} + 0,1 * s \quad (3)$$

4 RESULTADOS E ANÁLISES

Esta seção apresenta os resultados obtidos a partir do monitoramento do nível do tanque no *software* Elipse E3 como exibido na Figura 14, comparando-os com os dados exportados e tratados no Excel. Foram analisados três cenários com diferentes valores de *setpoint* (SP=48, SP=109 e SP=158), visando avaliar a consistência e a representação gráfica em ambas as plataformas.

Figura 14 - Interface do operador no Elipse E3.

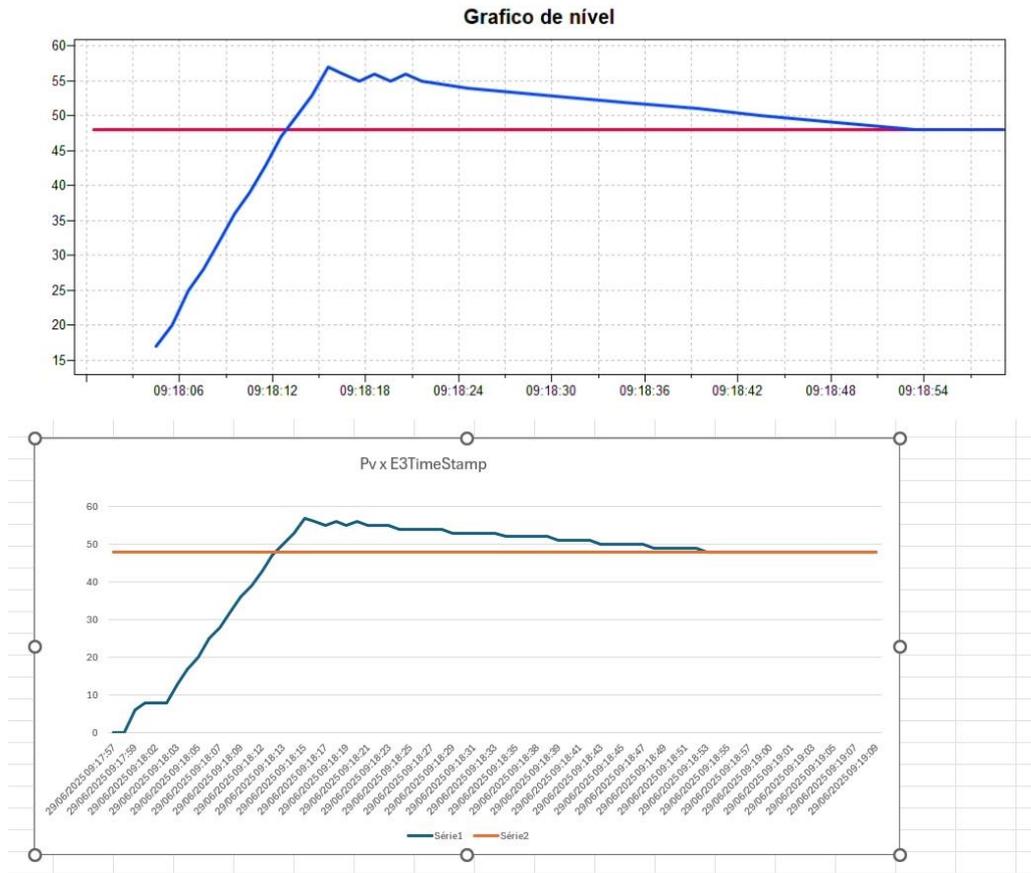


Fonte: Autoria Própria.

No primeiro cenário (SP=48 litros), o gráfico gerado pelo Elipse E3, bem como os gráfico dos dados exportados e plotados no MS Excel estão disponíveis na Figura 15. Na Figura 15 percebe-se uma resposta inicial rápida do sistema, com o nível do tanque atingindo o *setpoint* em aproximadamente 18 segundos. Observa-se uma pequena oscilação antes da estabilização, possivelmente devido à ação derivativa do controlador. Os gráficos de ambos os *softwares* se assemelham a seus comportamentos para o *setpoint* escolhido o que difere é apenas a graduação dos valores que foram utilizadas em cada uma.

Na Tabela 2 é ilustrado os parâmetros de desempenho do controlador PID para o *setpoint* de 50 litros no tanque. A análise da Tabela 2, traz que para um *setpoint* de 48 litros, os *softwares* têm o mesmo comportamento, outra observação a ser feita é o valor de *overshoot* de 18,75%, mesmo dentro das especificações do método de Ziegler e Nichols (máximo *overshoot* de 25%).

Figura 15 - Gráficos com o SP=48 no Elipse E3 e no Excel.



Fonte: Autoria Própria.

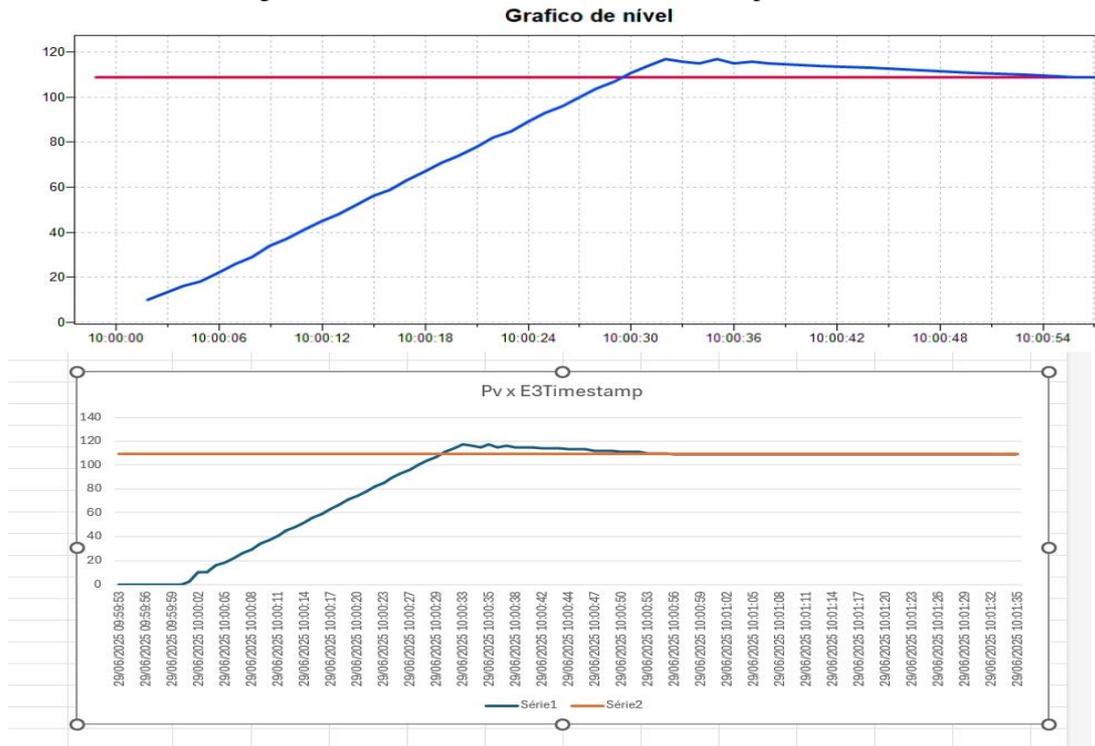
Tabela 2 - Comparações entre os gráficos do Elipse E3 e do Excel para *setpoint* de 48 litros.

Parâmetro	Elipse E3	Excel
Tempo de subida(segundos)	8	8
Tempo de acomodação(segundos)	30	30
<i>Overshoot</i> (%)	18,75%	18,75%
Valor de Pico	57	57

Fonte: Autoria Própria.

Na Figura 16 é ilustrado o comportamento do nível do tanque para um *setpoint* de 109 litros onde, o tanque estava vazio e o controle o leva até atingir os 109 litros. Na Tabela 3 são ilustrados os parâmetros de desempenho para o referido *setpoint*. Percebe-se que neste cenário de teste houve uma melhora na resposta do controlador, com um *overshoot* de 7,33% aceitável para modelos de primeira ordem com atraso, conforme prescrito na literatura da área.

Figura 16 - Gráficos com o SP=109 litros no Elipse E3 e no Excel.



Fonte: Dados da pesquisa (2025).

Tabela 3 - Comparações entre os gráficos do Elipse E3 e do Excel para um *setpoint* de 109.

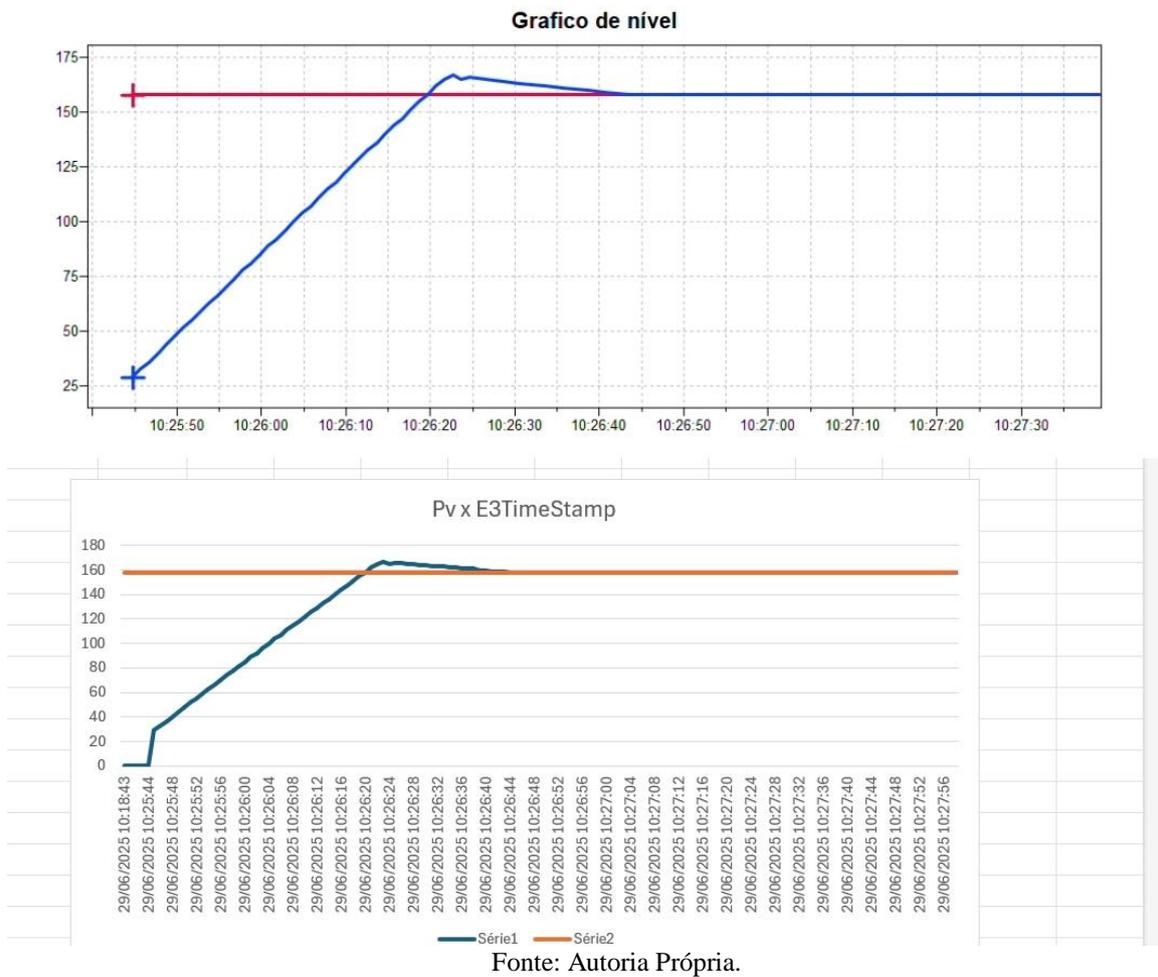
Parâmetro	Elipse E3	Excel
Tempo de subida (segundos)	23	23
Tempo de acomodação (segundos)	48	48
<i>Overshoot</i> (%)	7,33%	7,33%
Valor de Pico	117	117

Fonte: Dados da pesquisa (2025).

Sobre os parâmetros da Tabela 3, percebe-se que o de tempo de subida se apresenta lento, o que sugere que o controle seja mais conservador priorizando a estabilidade em malha fechada, já o tempo de acomodação é longo o que se torna inviável em sistemas de controle fino. Contudo os parâmetros estão dentro dos limiares prescritos na literatura para sistemas de controle térmicos e controle de nível de alta inércia. No tocante ao *overshoot* o processo se encaixou nos padrões de sistemas industriais, sobressalto < 15%, o que é um bom indicativo de amortecimento e controle mais estável.

Na Figura 17 é ilustrado o cenário de validação do controle PID para um *setpoint* de 158 litros. Vale salientar que o tanque já tinha 25 litros, não estava vazio (cenário da Figura 16).

Figura 17 - Gráficos com o SP=158 litros no Elipse E3 e no Excel.



Na Tabela 4 é ilustrados os parâmetros de desempenho para o *setpoint* de 158 litros. Percebe-se que neste cenário de teste o sistema é estável e bem-comportado em malha fechada, mostrando que a lei de controle consegue levar a saída controlada (nível) a seguir as referências de controle, com erro em regime permanente nulo.

Tabela 4 - Comparações entre os gráficos do Elipse E3 e do Excel para um SP de 158 litros.

Parâmetros	Elipse E3	Excel
Tempo de subida(segundos)	30	30
Tempo de acomodação(segundos)	80	80
<i>Overshoot</i> (%)	5,69%	5,69%
Valor de Pico	167	167

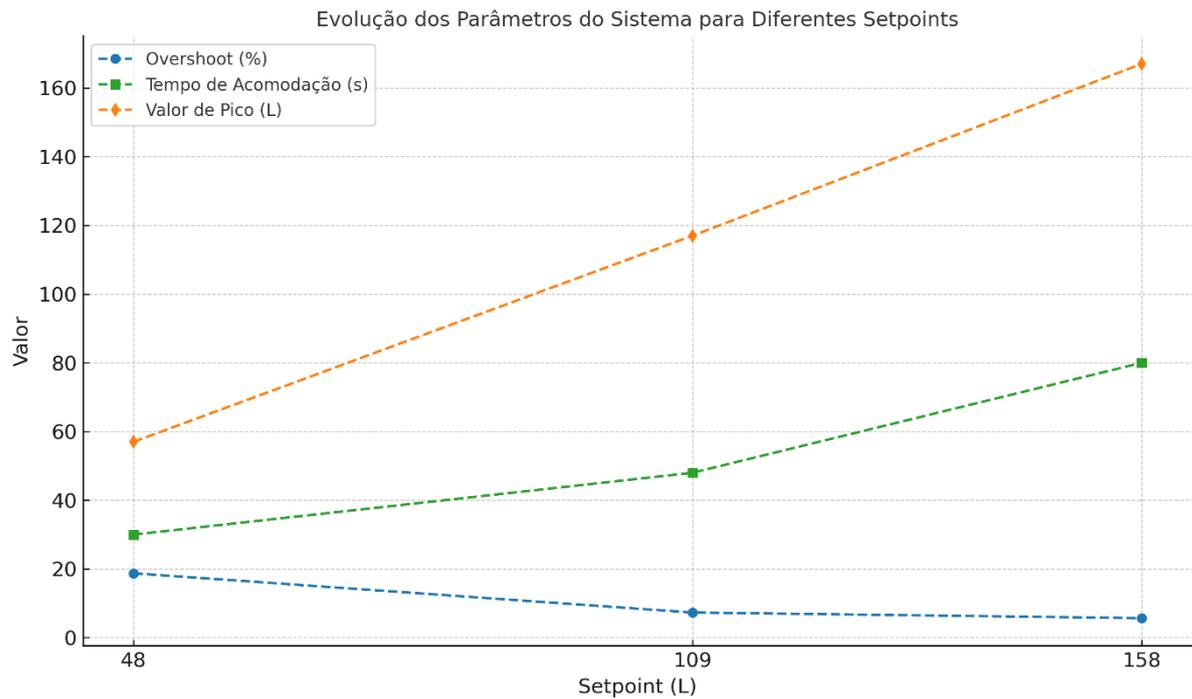
Fonte: Autoria Própria.

Analisando a Tabela 4 percebe-se que o tempo de subida é moderado, comprovando que o controle prioriza suavidade sobre a velocidade. Já o tempo de acomodação foi maior que os cenários anteriores, mostrando uma dificuldade maior de desacelerar a subida em valores altos de *setpoint*, apresentando uma dinâmica lenta.

A Figura 18 expõe um comparativo visual dos principais parâmetros analisados para os três cenários de validação da lei de controle. Observa-se, por exemplo, uma melhoria gradual no *overshoot* do sistema à medida que o *setpoint* aumenta para níveis acima de 100 unidades, acompanhado de um aumento no tempo de acomodação.

No Anexo A contém o vídeo demonstrando como foi desenvolvido o presente trabalho e apresentando o comportamento dos três *setpoints*.

Figura 18 – Evolução dos parâmetros do sistema para diferentes setpoints.



Fonte: Autoria Própria.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho avaliou o desempenho de um sistema de controle PID no cenário *Level Control* do software FACTORY IO, modelado como um sistema de primeira ordem com atraso e ajustado pelo método de Ziegler e Nichols. A integração com o Elipse E3 e o CODESYS possibilitou a aquisição e análise de dados para diferentes setpoints, contemplando parâmetros como tempo de subida, overshoot, pico e tempo de acomodação. Os resultados mostraram redução do overshoot com o aumento do setpoint, mas também maior tempo de acomodação em valores mais elevados.

Embora desenvolvido em ambiente simulado e com faixa de operação limitada, o controlador apresentou desempenho satisfatório, condizente com um PID bem ajustado. Esses resultados reforçam a importância de ensaios em simulação antes da aplicação prática, apontando como perspectivas futuras a implementação em sistema físico, a realização de testes com perturbações e a comparação com outras estratégias de controle.

REFERÊNCIAS

- ALTUS. **O que é CLP e quando utilizá-lo?** 2025. Disponível em: <https://www.altus.com.br/post/400/o-que-e-clp-e-quando-utiliza-lo-3f#:~:text=Abrevia%C3%A7%C3%A3o%20de%20Controlador%20L%C3%B3gico%20Program%C3%A1vel,para%20realizar%20atividades%20industriais%20espec%C3%ADficas.> Acesso em: 08 jul. 2025.
- FACTORY IO. **About factory IO.** 2024. Disponível em: <https://docs.factoryio.com/manual/scenes/level-control/>. Acesso em: 12 jul. 2025
- GOEKING, Weruska. Memória da eletricidade 70: da máquina a vapor aos *softwares* de automação. **Setor Elétrico**, maio 2010, p. 70-77.
- INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC 61131-3**: programmable controllers: programming languages. Genebra, 2013.
- MANZINI, João Pedro; MINHONI, Danilo Carlos Rossetto; FLORIAN, Fabiana. Simulação: integração de sensores do tipo célula de carga e *software* elipse e3 no monitoramento de silos de granalha. **RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar**, v. 5, n. 12, p. 1-14, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.47820/recima21.v5i12.5943>. Acesso em: 08 jul. 2025.
- OGATA, K. **Engenharia de controle moderno**. Tradução de Bernardo Severo. 5. ed. LTC- Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, 2009.
- ROSSI, Renan de. **Bancos de dados suportados pelo E3**. Elipse Software, 25 mar. 2019. Disponível em: <https://kb.elipse.com.br/kb29527-bancos-de-dados-suportados-pelo-e3/>. Acesso em: 20 jul. 2025.
- SILVEIRA, Leonardo; LIMA, Weldson Q. **Um breve histórico conceitual da automação industrial e redes para automação industrial**. Natal: UFRN, 2003.
- SOUZA, Lucas Carvalho; PEREIRA, André Luiz Silva. **Estudo e aplicação de linguagens de programação utilizando o *software* CODESYS**. Jataí: IFG, 2015.
- ZIEGLER, J. G.; NICHOLS, N. B. Optimum settings for automatic controllers. **Transactions of the ASME**, v. 64, n. 11, p. 759–768, 1942.

ANEXO A – FUNCIONAMENTO DA APLICAÇÃO

Este anexo contém o *link* do vídeo publicado no YouTube demonstrando a aplicação prática do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), a integração entre os *softwares* Elipse E3, CODESYS e FACTORY IO, no controle de nível.

O vídeo apresenta todas as etapas da implementação: modelagem, integração das ferramentas, controle da planta simulada e supervisão do processo em tempo real.

Link: <https://www.youtube.com/watch?v=mpIX5LJ0EOA>