

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE  
SANTA CATARINA - CAMPUS FLORIANÓPOLIS  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE METAL-MECÂNICA  
BACHARELADO EM ENGENHARIA MECATRÔNICA**

**LUCAS ARTHUR DUTRA JUNIOR**

**IMPLEMENTAÇÃO E APLICAÇÃO SCADA EM BANCADA DIDÁTICA VOLTADA  
PARA ENSINO EM CONTROLE DE PROCESSOS: Adaptação virtual do projeto**

**Florianópolis, 2021.**



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE  
SANTA CATARINA - CAMPUS FLORIANÓPOLIS  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE METAL-MECÂNICA  
BACHARELADO EM ENGENHARIA MECATRÔNICA**

**LUCAS ARTHUR DUTRA JUNIOR**

**IMPLEMENTAÇÃO E APLICAÇÃO SCADA EM BANCADA DIDÁTICA VOLTADA  
PARA ENSINO EM CONTROLE DE PROCESSOS: Adaptação virtual do projeto**

Trabalho de conclusão de Curso submetido ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Mecatrônico.

Orientadora:

Profa. Dra. Eng. Cynthia Beatriz Scheffer Dutra

Co-orientador:

Prof. Dr. Eng. Francisco Rafael Moreira Da Mota

**Florianópolis, 2021.**

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor.

Dutra Junior, Lucas Arthur

Implementação e aplicação SCADA em bancada didática voltada para ensino em controle de processos: adaptação virtual do projeto / Lucas Arthur Dutra Junior; orientação de Cynthia Beatriz Scheffer Dutra; coorientação de Francisco Rafael Moreira da Mota. – Florianópolis, SC, 2021.

78 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) – Instituto Federal de Santa Catarina, Câmpus Florianópolis. Bacharelado em Engenharia Mecatrônica. Departamento Acadêmico de Metal-Mecânica.

Inclui referências.

1. SCADA. 2. Bancada didática. 3. Educação Profissional e Tecnológica. 4. Controle de processos. I. Dutra, Cynthia Beatriz Scheffer. II. Mota, Francisco Rafael Moreira da. III. Instituto Federal de Santa Catarina. Departamento Acadêmico de Metal-Mecânica. IV. Título.

# IMPLEMENTAÇÃO E APLICAÇÃO SCADA EM BANCADA DIDÁTICA VOLTADA PARA ENSINO EM CONTROLE DE PROCESSOS: Adaptação virtual do projeto

LUCAS ARTHUR DUTRA JUNIOR

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do Título Engenheiro Mecatrônico e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do Curso de Engenharia Mecatrônica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Florianópolis, 20 de abril, 2021

Banca examinadora:

CYNTHIA BEATRIZ SCHEFFER  
DUTRA:01756197946  
2021.05.20 09:50:09 -03'00'

---

Cynthia Beatriz Scheffer Dutra, Dra. Eng.

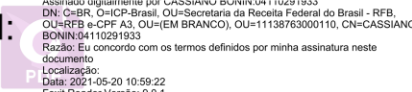
  
Francisco Rafael Moreira da Mota, Dr. Eng.

  
Assinado Digitalmente por:  
ROBERTO ALEXANDRE DIAS  
CPF/CNPJ: 57913439904 Assinado em: 20/05/2021  
Sua autenticidade pode ser confirmada no endereço:  
<<http://www.serpro.gov.br/assinador-digital>>

---

Roberto Alexandre Dias, Dr. Eng.

CASSIANO BONIN:  
04110291933

  
Assinado digitalmente por CASSIANO BONIN: 04110291933  
DN: cn=BR, ou=CNP-Brasil, ou=Secretaria da Receita Federal do Brasil - RFB, ou=RFB e-CPF A3, ou=(EM BRANCO), ou=11138763000110, cn=CASSIANO BONIN:04110291933  
Razão: Eu concordo com os termos definidos por minha assinatura neste documento.  
Localização:  
Data: 2021-05-20 10:59:22  
Envio: Assinador Versão: 0.0.1

---

Cassiano Bonin, Me. Eng.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA  
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA  
CAMPUS FLORIANÓPOLIS

## DECLARAÇÃO DE FINALIZAÇÃO DE TRABALHO DE CURSO

Declaro que o estudante **Lucas Arthur Dutra Junior**, matrícula nº 172005298-0, do Curso de Engenharia Mecatrônica, defendeu o trabalho intitulado ***IMPLEMENTAÇÃO E APLICAÇÃO SCADA EM BANCADA DIDÁTICA VOLTADA PARA ENSINO EM CONTROLE DE PROCESSOS: Adaptação virtual do projeto***, o qual está apto a fazer parte do banco de dados da Biblioteca Hercílio Luz do Instituto Federal de Santa Catarina, Campus Florianópolis.

Florianópolis, \_20\_de \_Maio\_ de \_2021\_.

CYNTHIA BEATRIZ SCHEFFER  
DUTRA:01756197946  
2021.05.20 14:18:16 -03'00'

---

Prof. Orientador do TCC: Cynthia Beatriz Scheffer Dutra

*Óh, Universo infinito que consta dentro e fora de nós! Óh, Partículas Elementares que são quase nada e, quiçá, tudo! O saber e as dúvidas; vocês me movem, me motivam e inspiram!*

## RESUMO

A Educação Profissional e Tecnológica, de forma geral, exige do professor desta modalidade, cada vez mais, recursos que visam o incremento da prática aliado a teoria. Com este viés, este projeto visa a implementar um sistema para estudo prático, em disciplinas de Controle de Processos. Atualmente o laboratório de Controle de Processos, do Campus Florianópolis do IFSC, dispõe de duas bancadas didáticas - com o tema de controle de nível, temperatura, vazão e pressão em tanques - em pleno funcionamento, porém desenvolvida em software proprietário fechado com algumas limitações. O objetivo original deste projeto foi criar uma aplicação em Software SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition - Sistemas de Supervisão e Aquisição de Dados), para disponibilizar ao estudante e ao professor de Controle de Processos mais possibilidades de estudo, utilizando parte do sistema existente. Este projeto foi realizado de forma completamente virtual, utilizando softwares auxiliares para simular os componentes físicos. Ao fim deste projeto os resultados alcançados formam um sistema virtual completamente funcional e aplicação em SCADA, permitindo que o usuário realize o estudo do controle PID, em malha fechada e aberta, visualizando o processo em simulação 3D, ou na forma de diagrama de instrumentação, gerando gráficos em tempo real ou utilizando banco de dados. Além disto o sistema gerado tem flexibilidade para futuras implementações, incluindo a adaptação para as bancadas do objetivo original.

Palavras-chave: SCADA. Bancada didática. Controle de processos. Educação Profissional e Tecnológica



## **Abstract**

*Technology education, in general, requires resources from the technological area, to aim the integration of theory and practice. With this bias, this project aims to implement a system for practical study in Control Systems course. Currently, the Process Control laboratory of the IFSC Florianópolis Campus has two didactic stations - used for level, temperature, flow rate and pressure control in tanks - working normally, but developed in a proprietary software / closed source system, with some limitations. The original goal of this project was to design a SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) software application, to provide more study options for the student of control system course, using part of the existing system. This project was made completely in virtual systems, using auxiliary software to simulate the physical components. At the end of this project the results achieved were a fully functional virtual system and SCADA application, granting the user to study PID control, in closed and open loop, visualizing the process in 3D simulation or in the instrumentation diagram, generating real-time graphics or using a database. Furthermore, the generated system is flexible enough for future implementations, including adaptation to integrate with the physical system, the didactic stations.*

**Keywords:** SCADA. Didactic stations. Control System. Technology Education.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Diagrama do sistema a ser desenvolvido .....	14
Figura 2 - Metodologia de pesquisa/planejamento.....	16
Figura 3 - Metodologia PRODIP .....	17
Figura 4 - Diagrama de arquitetura do sistema .....	20
Figura 5 - Bancada MPS-PA .....	24
Figura 6 - Compreensão dos diagramas de instrumentação.....	26
Figura 7 - Diagrama de instrumentação dos processos .....	27
Figura 8 - Diagrama do processo de controle de nível.....	31
Figura 9 - Diagrama do processo de controle de vazão .....	32
Figura 10 - Diagrama do processo de controle de pressão.....	34
Figura 11 - Diagrama do processo de controle de temperatura .....	35
Figura 12 - Exemplo de programação <i>ladder</i> .....	36
Figura 13 - Fluxo e conteúdo das telas .....	38
Figura 14 - Entradas e saídas no sistema SCADA.....	39
Figura 15 - Diagrama de comunicação e sistemas .....	40
Figura 16 - Bancada Virtual, interface para o usuário do software Factory IO .....	42
Figura 17 - Tela de configuração do <i>driver</i> .....	43
Figura 18 - Evolução da disposição e conteúdo do SCADA .....	46
Figura 19 - Funcionalidade de informações .....	47
Figura 20 - Implementações "Tela de controle".....	48
Figura 21 - Scripts de troca de processos na forma inteligível .....	49
Figura 22 - Menu de testes.....	50
Figura 23 - Script de verificação de processo em execução .....	51
Figura 24 - Configurações do Driver OPC.....	52
Figura 25 - <i>Tags</i> de comunicação do <i>driver</i> OPC .....	53
Figura 26 - Configurações do banco de dados.....	53
Figura 27 - Procedimento de exportação de dados da tela la de gráficos.....	54
Figura 28 - Planilha pré configurada .....	55
Figura 29 - Limites de valores do objeto SetPoint na entrada de dados do SP .....	55
Figura 30 - <i>Tips</i> implementadas .....	56
Figura 31 - Resultado do teste de controle PID genérico.....	58

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Nomenclatura dos componentes.....	28
Tabela 2- Conexões dos componentes.....	29
Tabela 3 - Componentes relacionados aos processos.....	30
Tabela 4 - Entradas e saídas do bloco PID.....	45
Tabela 5 - Resultados alcançados dos objetivos originais .....	60
Tabela 6 - Resultados alcançados dos objetivos adaptados.....	60

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

PID - Proporcional Integral Derivativo

SCADA - Supervisory Control And Data Acquisition

CLP - Controlador Lógico Programável

NBR - Norma técnica BRasileira

ISA - International Society of Automation

NA - Normalmente Aberto

NF - Normalmente Fechado

3D - Três Dimensões

SP - Set Point

OPC - Open Platform Communications

ANP - Atividade Não Presencial

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>1.1.</b>	<b>Justificativa .....</b>	<b>14</b>
<b>1.2.</b>	<b>Objetivos .....</b>	<b>14</b>
1.2.1.	Objetivo Principal.....	15
1.2.2.	Objetivos específicos.....	15
<b>2.</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>16</b>
<b>2.1.</b>	<b>Metodologia de pesquisa / planejamento.....</b>	<b>16</b>
2.1.1.	Verificação do sistema atual.....	16
2.1.2.	Definição do conceito .....	16
2.1.3.	Adequações necessárias.....	17
2.1.4.	Aplicação SCADA.....	17
2.1.5.	Testes e validação.....	17
<b>2.2.</b>	<b>Metodologia de desenvolvimento de produtos.....</b>	<b>17</b>
2.2.1.	Planejamento do produto e projeto.....	18
2.2.2.	Projeto informacional .....	18
2.2.3.	Projeto Conceitual .....	18
2.2.4.	Projeto Preliminar .....	18
2.2.5.	Projeto Detalhado .....	18
2.2.6.	Preparação para produção .....	18
2.2.7.	Lançamento .....	18
2.2.8.	Validação.....	19
<b>3.</b>	<b>PROJETO INFORMACIONAL .....</b>	<b>20</b>
<b>3.1.</b>	<b>Sistemas SCADA .....</b>	<b>20</b>
3.1.1.	Studio .....	21
3.1.2.	Viewer.....	21
3.1.3.	Telas e quadros.....	22
<b>3.2.</b>	<b>Controle PID.....</b>	<b>22</b>
<b>3.3.</b>	<b>Bancada MPS-PA - FESTO.....</b>	<b>23</b>
<b>3.4.</b>	<b>Norma de Instrumentação - ISA 5.1 .....</b>	<b>25</b>
<b>3.5.</b>	<b>Processos envolvidos.....</b>	<b>26</b>

3.5.1.	Controle de nível.....	30
3.5.2.	Controle de vazão.....	32
3.5.2.1.	Bomba em velocidade variável:.....	32
3.5.2.2.	Bomba em velocidade constante:.....	33
3.5.3.	Controle de pressão .....	33
3.5.3.1.	Bomba em velocidade variável:.....	34
3.5.3.2.	Bomba em velocidade constante:.....	35
3.5.4.	Controle de temperatura.....	35
<b>3.6.</b>	<b>CLP .....</b>	<b>36</b>
<b>4.</b>	<b>PROJETO CONCEITUAL .....</b>	<b>38</b>
<b>4.1.</b>	<b>Adequações extraordinárias .....</b>	<b>40</b>
<b>5.</b>	<b>PROJETO PRELIMINAR .....</b>	<b>42</b>
<b>5.1.</b>	<b>Simulação da bancada .....</b>	<b>42</b>
<b>5.2.</b>	<b>Simulação do CLP .....</b>	<b>43</b>
<b>5.3.</b>	<b>Aplicação SCADA.....</b>	<b>45</b>
5.3.1.	Telas e Quadros .....	46
5.3.1.1.	Tela de controle.....	47
5.3.1.2.	Quadro de processos .....	48
5.3.1.3.	Tela de comunicações.....	49
5.3.1.4.	Tela de supervisão .....	51
5.3.2.	<i>Driver</i> OPC no SCADA.....	51
5.3.3.	Banco de dados.....	53
5.3.4.	Relatórios .....	54
5.3.5.	Implementações Adicionais .....	55
<b>6.</b>	<b>PROJETO DETALHADO .....</b>	<b>57</b>
<b>7.</b>	<b>CONCLUSÕES / CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>59</b>
<b>7.1.</b>	<b>Conclusões .....</b>	<b>59</b>
<b>7.2.</b>	<b>Recomendação para trabalhos futuros .....</b>	<b>60</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>62</b>

<b>ANEXO A - CONFIGURAÇÃO DOS COMPONENTES .....</b>	<b>64</b>
<b>APÊNDICE A - FLUXOGRAMA DO PROGRAMA DO CLP .....</b>	<b>65</b>
<b>APÊNDICE B - PROGRAMAÇÃO DO CLP .....</b>	<b>66</b>
<b>APÊNDICE C - TELAS .....</b>	<b>68</b>
<b>APÊNDICE D - Resultado de um teste genérico com a visualização simultânea dos softwares (a) Factory IO (b) Aplicação no elipse E3.....</b>	<b>78</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A transição atual da tecnologia, na era da informação, reflete seus passos na educação e vice-versa. Dentro do âmbito da educação, o ensino acompanha esta transição, e exige que professores utilizem, cada vez mais, os recursos da práxis, principalmente da modalidade da Educação Profissional e Tecnológica, prevista no Art. 39º da Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 2018 (Brasil, 1996). Com o viés da práxis, este projeto visa implementar um sistema para estudo prático, em disciplinas envolvendo o Controle de Processos.

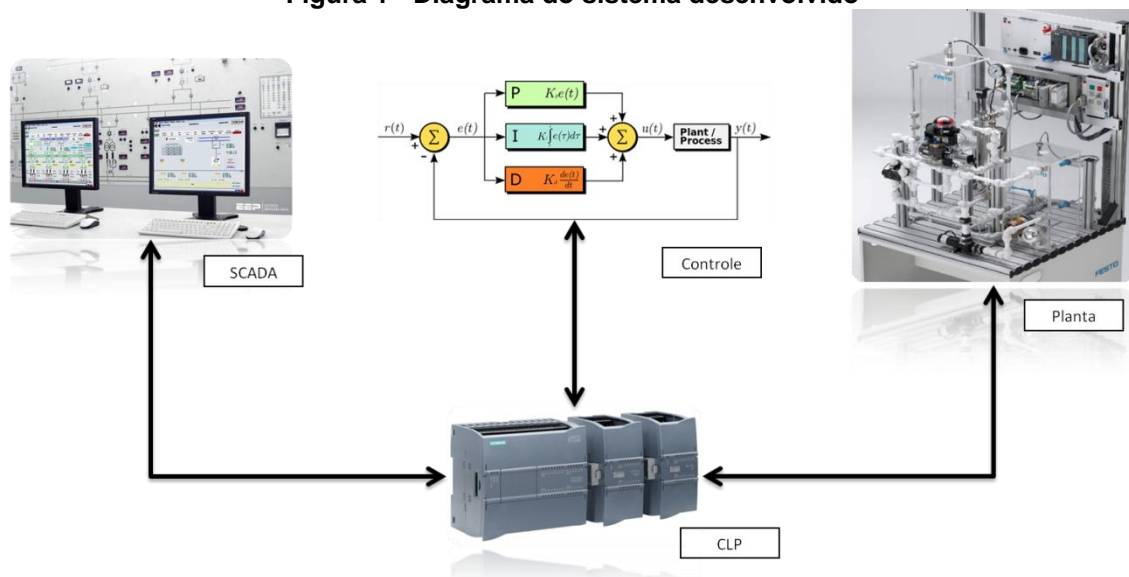
A motivação do estudante de Controle de Processos é muito importante para o aprendizado. O uso de aulas prática e de simulações são formas de aumentar a motivação do estudante. Com isso, surge o tema deste projeto, que visa ampliar as possibilidades de estudo prático e simulações.

Dentro do Campus Florianópolis do IFSC, lócus deste trabalho, no laboratório de Controle de Processos e Sistemas Embarcados, atualmente, são utilizadas duas bancadas didáticas - com os temas de controle de nível, temperatura, vazão e pressão em tanques - completamente funcionais, porém as mesmas foram desenvolvidas para a aplicação de forma limitada, utilizando um sistema proprietário fechado, impossibilitando assim que o usuário modifique a aplicação.

A proposta deste trabalho é projetar um sistema, mostrado na Figura 1, que consiste em um sistema SCADA (Sistemas de Supervisão e Aquisição de Dados), integrado a um CLP, visando controlar a planta (bancada didática), com flexibilidade para realizar alterações de acordo com as necessidades de estudo, diferentemente do sistema proprietário fechado. Esta proposta foi adaptada para uma versão virtual, nesta foram utilizados simuladores do CLP e da planta.



Figura 1 - Diagrama do sistema desenvolvido



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

### 1.1. Justificativa

Com o viés de aplicar na prática o conteúdo em disciplinas de Controle de Processos, este projeto justifica-se pelo fato de ser um recurso didático útil.

Em uma disciplina de Controle de Processos, por tratar de temas com alta quantidade de conteúdo matemático, o aluno pode sentir-se desmotivado em seus estudos quando o tema se restringe a teoria. Com isso é de considerável relevância, no contexto em questão, a implementação de um sistema que permita ao aluno visualizar quaisquer variáveis disponíveis e aplicar diversas situações estudadas na teoria como por exemplo gerar os gráficos desejados e utilizar controladores diferentes do PID convencional.

É relevante, também, o fato de que o sistema atual, plantas didáticas FESTO, é pouco interativo e o programa proprietário, o FluidLab, impõe ao usuário ficar limitado ao conteúdo que está programado pelo fornecedor. É justificável, então, o desenvolvimento de uma aplicação aberta para contornar esta situação, possibilitando assim, adequações as necessidades.

### 1.2. Objetivos

O objetivo principal e os específicos deste projeto são os seguintes:

### 1.2.1. Objetivo Principal

- Implementar uma aplicação em SCADA para ensino de disciplinas da área de Controle de Processos, com recursos didáticos de estudo, através da atualização/adequação de plantas didáticas FESTO, disponíveis em laboratório.

### 1.2.2. Objetivos específicos

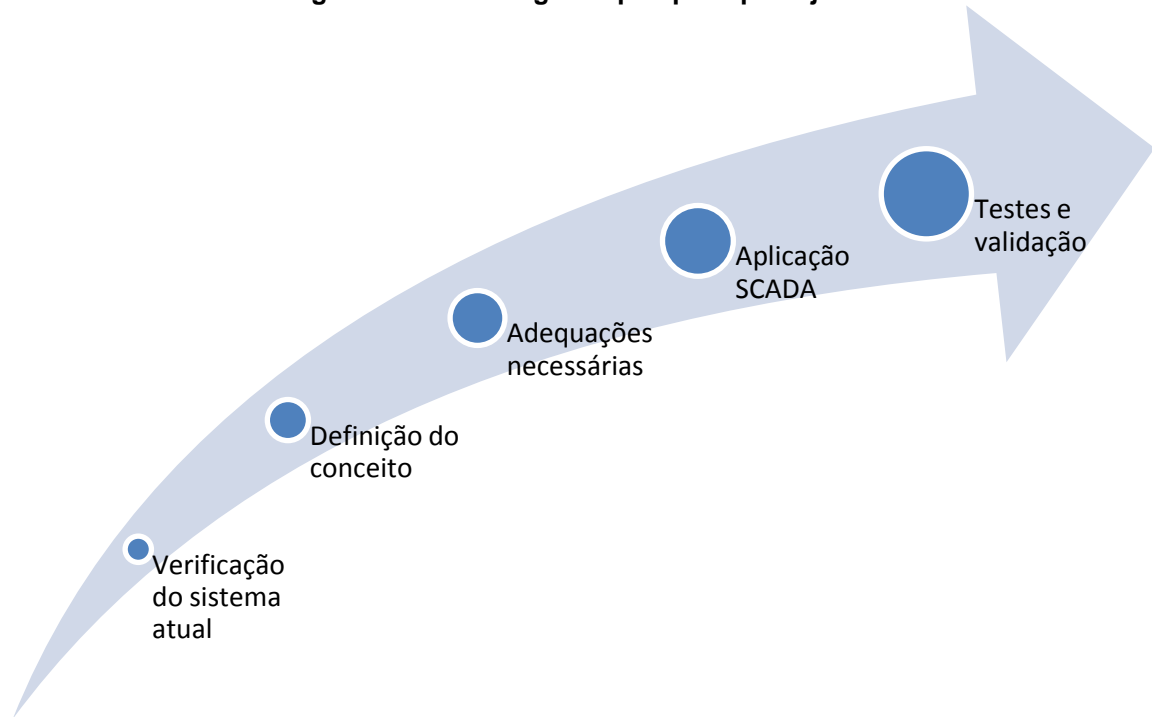
São objetivos específicos deste projeto:

- Estudar o sistema atual disponível nas plantas didáticas FESTO;
- Fazer testes com os componentes;
- Aplicar o controle PID;
- Adequar a programação do CLP;
- Desenvolver a aplicação SCADA;
- Executar os testes;
- Desenvolver a documentação.

## 2. METODOLOGIA

A pesquisa deste projeto foi planejada e desenvolvida de acordo com a metodologia representada na Figura 2.

Figura 2 - Metodologia de pesquisa/planejamento



Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

### 2.1. Metodologia de pesquisa / planejamento

A seguir serão descritos os conteúdos das etapas do planejamento.

#### 2.1.1. Verificação do sistema atual

Inicialmente foi verificado a situação do sistema atual, visando obter dados, requisitos de projetos, e outros detalhes tais como limitações. Estas informações foram utilizadas para tomar decisões ao longo do projeto e visando a compreensão do sistema como um todo.

Este sistema é composto pela bancada, CLP, dispositivos de integração, e respectivos softwares e documentações.

#### 2.1.2. Definição do conceito

Após a verificação do sistema atual, foi definido o conceito do sistema, planejado inicialmente para integrar o sistema físico e posteriormente adaptado para integração de uma bancada virtual um software de simulação de CLP e a aplicação SCADA com características específicas de leiaute das telas e conteúdo.

### 2.1.3. Adequações necessárias

Estimou-se que seriam necessárias fazer adequações, como alterações no programa do CLP e padronização das nomenclaturas de componentes, para viabilizar o desenvolvimento da aplicação SCADA.

### 2.1.4. Aplicação SCADA

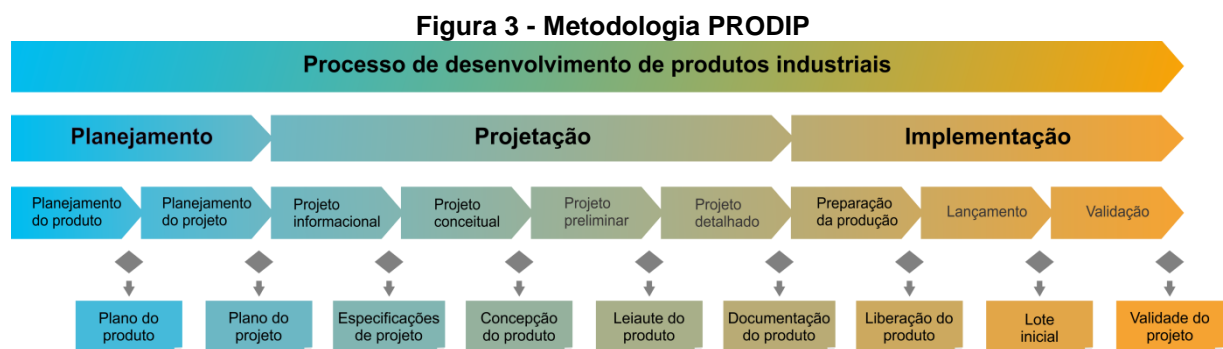
Com as devidas adequações executadas foi desenvolvido a aplicação SCADA, que contém basicamente as telas, com objetos representando os componentes da bancada, configurações do sistema e gráficos. Nestas telas o usuário insere os parâmetros de controle para e visualiza o processo acontecendo em tempo real.

### 2.1.5. Testes e validação

Por fim, ocorreram os testes, executados pelo autor do projeto, seguidos de sucessivos ajustes e, ao término, alcançando os objetivos delineados.

## 2.2. Metodologia de desenvolvimento de produtos

Utilizou-se, neste projeto, a metodologia PRODIP (Figura 3), com o intuito de organizar estruturalmente e deixar bem definidas e delimitadas as etapas.



Fonte: Back *et al.* (2008)

Como o projeto a ser desenvolvido não trata-se de um produto para o mercado e além disto é um software, a metodologia será utilizada como estudo de caso e algumas das etapas do PRODIP serão adaptadas por não terem aplicação no projeto em questão.

A seguir serão apresentadas as considerações a respeito de como foram tratadas e ou adaptadas as etapas.

#### 2.2.1. Planejamento do produto e projeto

O conteúdo desta etapa é análogo ao que foi desenvolvido na etapa anterior ao TCC, o pré-TCC, cujo resultado foi o planejamento exposto na Figura 2.

#### 2.2.2. Projeto informacional

Esta etapa tratou das disposições iniciais, pesquisa básica de revisão bibliográfica e fundamentação teórica.

#### 2.2.3. Projeto Conceitual

Onde foi definido conceito da aplicação, descrito no capítulo "Definição do conceito".

#### 2.2.4. Projeto Preliminar

Onde foram realizadas as etapas de "Adequações necessárias" e "Aplicação SCADA".

#### 2.2.5. Projeto Detalhado

Onde foram realizados os testes e documentações.

#### 2.2.6. Preparação para produção

Não aplicável ao projeto em questão, pois o projeto resultou em um software que não necessita de preparação para produção.

#### 2.2.7. Lançamento

Esta etapa pode ser realizada com a introdução do software em sala de aula em algum projeto posterior a este.

### 2.2.8. Validação

Etapa de aceitação do projeto pelos usuários (alunos) caso seja realizada a etapa de lançamento. Substituindo esta etapa, foi realizada uma etapa de validação virtual do projeto.

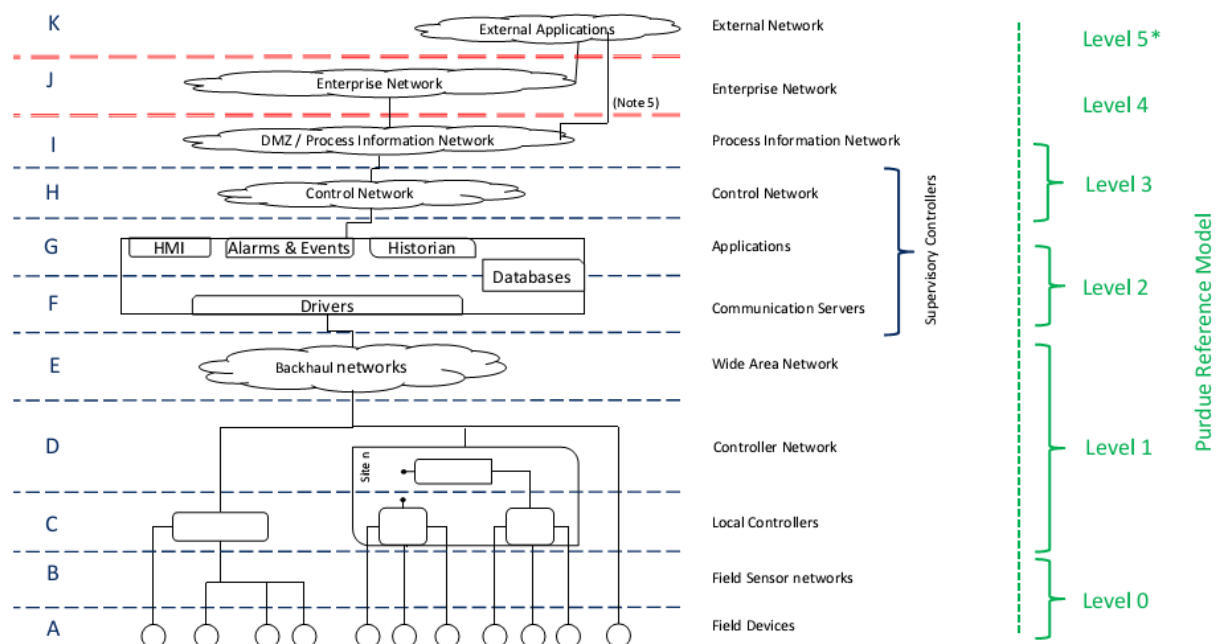
### 3. PROJETO INFORMACIONAL

A principal questão a ser desenvolvida em um sistema de supervisão e controle é dispor de maneira clara e eficiente a visualização das informações do sistema e os controles necessários para cada usuário específico. Como este sistema trata de um sistema didático, além destas características dos sistemas SCADA, temos a missão de expor e informações importantes para o aprendizado de um usuário que pode estar entrando em contato pela primeira vez com a temática, Controle de Processos.

#### 3.1. Sistemas SCADA

Os sistemas SCADA (acrônimo que significa controle supervísório e aquisição de dados) são amplamente utilizados na indústria, e tem um papel indispensável na era da informação, pois são softwares que fazem três importantes elos na indústria: A comunicação dos dispositivos no chão de fábrica com seus operadores, a engenharia e a administração. Com isso os sistemas supervísórios, como também são chamados, tornam-se ferramentas indispensáveis para o desenvolvimento tecnológico mundial. A cadeia de camadas (F, G e H) de um sistema SCADA (ISA, 2020) pode ser vista na Figura 4.

**Figura 4 - Diagrama de arquitetura do sistema**



Fonte: Adaptado Comitê de padrões de sistemas SCADA - ISA 112 (2020)

Contudo, os sistemas SCADA também podem ser utilizados para outros fins diferentes da indústria, como por exemplo a automação residencial (em uma casa automatizada onde o usuário pode controlar ou visualizar o estado de lâmpadas e outros dispositivos), entretenimento (em um teatro automatizado, onde o operador controla, a iluminação e efeitos especiais de palco) ou até, como é o caso deste trabalho, um sistema didático

Um sistema SCADA trata-se de um software, que por meio da sua comunicação com um determinado dispositivo, envia informações ao usuário e envia comandos do usuário para o dispositivo. Este software pode ser programado por meio de linguagem de programação, como por exemplo C++, ou utilizando um software dedicado ao desenvolvimento de uma aplicação. Dentre os softwares dedicados ao desenvolvimento de aplicações SCADA podemos destacar três softwares nacionais, Elipse SCADA, SCADA Br e Elipse E3.

Os motivos principais para utilização do Elipse E3 neste trabalho, são o fato do IFSC ter licença disponível (no formato *hardkey*, dispositivo que contém a licença), a disponibilidade de *driver* para comunicação com o CLP da bancada a ser utilizada e a experiência prévia do autor com o software.

A seguir serão apresentados alguns dos termos específicos relacionados ao Elipse E3.

### 3.1.1. Studio

O Studio é o módulo do Elipse E3 onde a aplicação é desenvolvida, ou seja, usualmente o usuário não tem acesso a este módulo. Dentro do Studio são criados objetos, telas e quadros, configurados *drivers* e realizada a programação da aplicação.

### 3.1.2. Viewer

O *Viewer* (Visualizador) é o software responsável pela interface com o usuário, ou seja a janela que o usuário irá interagir, de acordo com o que foi projetado pelo desenvolvedor no Studio. O mesmo se comunica com o servidor do E3 (*E3 Server*) e exibe as telas e quadros.



### 3.1.3. Telas e quadros

Toda parte gráfica exibida no *Viewer* é resultado dos objetos inseridos (pelo desenvolvedor no *Studio*) em uma área chamada tela. Objetos da tela incluem formatos geométricos, textos, *SetPoints*, *displays*, imagens, entre outros.

Com o auxílio de um quadro, é possível dividir o que é exibido no *Viewer*, afim de mostrar quantas telas forem necessárias (Elipse, 2012).

## 3.2. Controle PID

Controlar é uma atividade frequente. No âmbito tecnológico, temos a necessidade de controlar grandezas como a temperatura de uma sala, a velocidade de uma esteira a posição de um braço robótico. Dentro deste projeto, o controle é o motivo de estudo, especificamente o controle PID.

O controle PID é um tipo de controle, baseado em modelos matemáticos, representados pelas ações de controle que significam Proporcional, Integral e Derivativa. A função transferência no domínio da frequência é:

$$L(s) = K_p + K_i/s + K_d s \quad (1)$$

Onde:

$L(s)$  = transformada de Laplace da função PID

$K_p$  = ganho proporcional

$K_i$  = ganho integral

$K_d$  = ganho derivativo

Para compreender parte deste trabalho é importante o entendimento de alguns termos relacionados ao controle PID, aplicados a sistemas físicos, citados a seguir:

- a) Referência: Valor, indicado na entrada do processo, que deseja-se atingir na saída. Exemplo 25°C;
- b) Variável controlada: É a propriedade do domínio da Física, que por meio do controle, indiretamente, pretendemos atingir, alcançando o valor de referência. Exemplo temperatura;

- c) Variável manipulada: É a propriedade do domínio da Física, que manipulamos diretamente, a fim de atingir o valor de referência. Exemplo tensão elétrica.

Como um exemplo geral, podemos controlar a temperatura (variável controlada) do fluido em um tanque, a fim de atingir 25°C (referência), variando a tensão elétrica (variável manipulada) de uma resistência.

### **3.3. Bancada MPS-PA - FESTO**

A bancada MPS-PA (Figura 5), desenvolvida pelo fabricante FESTO, é um sistema didático voltado para o treinamento em diversas temáticas encontradas na indústria, como por exemplo: mecânica, instrumentação, pneumática entre outros, o que inclui também tópicos de controle de processos.

Figura 5 - Bancada MPS-PA



Fonte: Manual MPS-PA Compact Workstation (2008)

Com relação aos tópicos voltados para o treinamento em Controle de Processos, existem quatro processos básicos a serem estudados: o controle de nível, o controle de temperatura, o controle de vazão e o controle de pressão.

A documentação do fabricante da bancada, apesar de bem detalhada, apresenta diversos erros de digitação, tradução e diversas inconsistências de informações. Existem diversos erros de nomenclatura, por exemplo, no manual o elemento trocador de calor é chamado de "*heat exchanger*", e no documentos das

*Datasheets* o mesmo é chamado de "*heating unit*", além de haver outro componente com o nome "*heat exchanger*" (Festo, 2008). Essa grande quantidade de erros tornou a tarefa de levantamento de informações, que deveria ser uma tarefa fácil, em uma tarefa de investigação minuciosa.

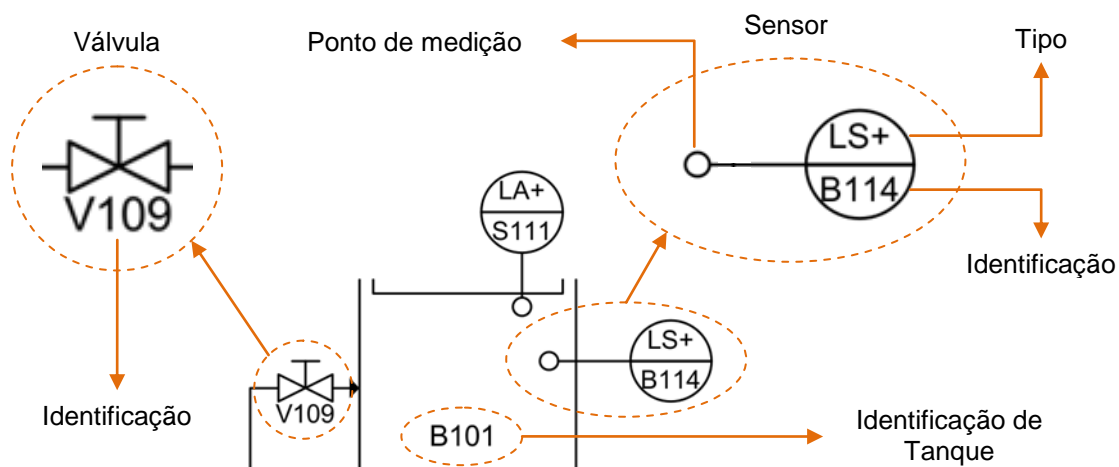
Esta investigação minuciosa foi realizada, pois é importante a compreensão detalhada de cada um dos processos, para o desenvolvimento do sistema, visto que, tratando de um sistema de controle, todos componentes têm influência no resultado final e, para o estudante, é de suma importância que o máximo de variáveis (que representam sensores e atuadores) estejam disponíveis para supervisão ou controle. Além do que, quaisquer erros, em um software didático, estariam atrapalhando o aprendizado.

#### 3.4. Norma de Instrumentação

É muito comum na indústria em geral, a utilização de diagramas para representar processos e para isto existe uma norma específica para representar os dispositivos, suas simbologias e formas de representação. A norma internacional responsável por isto é a ISO 5.1. No Brasil a norma que tratava deste assunto era a ABNT NBR 8190, porém a mesma foi cancelada (abntcatalogo, 2021) ficando assim a norma internacional como referência principal.

Para facilitar o compreensão dos diagramas de instrumentação aqui apresentados, a Figura 6 apresenta uma síntese dos símbolos mais importantes. Na figura podemos visualizar, a esquerda, uma válvula identificada como V109; no centro, um tanque, identificado como B101; e a direita, um sensor, do tipo LS+ (*Level* [processo controle de Nível] *Switch* [Chave / sensor] *High* [Alto]) identificado como B114. As ligações entre componentes são representadas por meio das linhas e setas.

**Figura 6 - Compreensão dos diagramas de instrumentação**

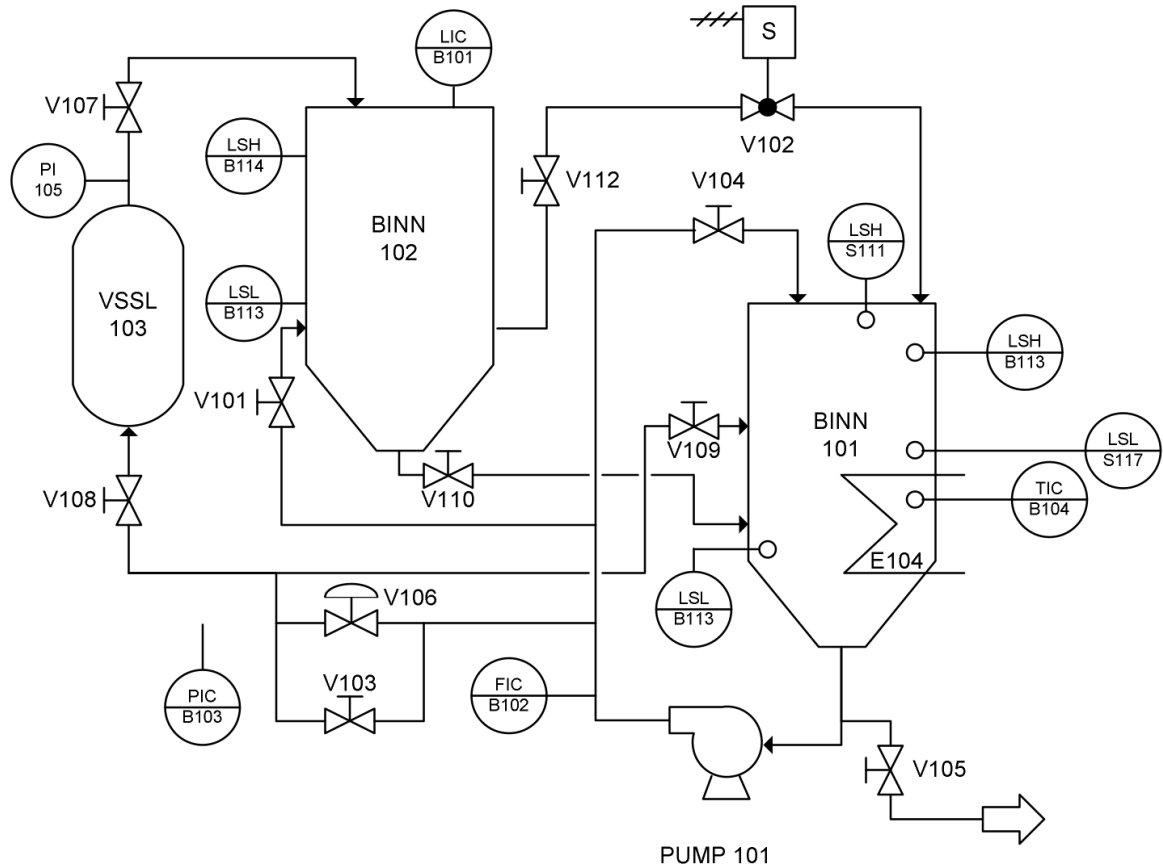


Fonte: Adaptado pelo autor (2021)

### 3.5. Processos envolvidos

Como citado anteriormente, a bancada é preparada para atuar em quatro processos, a Figura 7 mostra o diagrama de instrumentação, com uma visão geral contendo todos os processos.

**Figura 7 - Diagrama de instrumentação dos processos**



Fonte: Manual MPS-PA Compact Workstation (2008)

Os componentes serão listados a seguir em tabelas únicas, contendo na Tabela 1 a lista de nomenclaturas, afim de facilitar a compreensão dos termos utilizados, e na Tabela 2, a lista dos mesmos componentes relacionados ao comportamento de conexões elétricas e digitais. Os componentes destas tabelas se referem aos componentes dos diagramas apresentados nos capítulos 3.5.1 à 3.5.4, e as tabelas servem para identificá-los.

**Tabela 1- Nomenclatura dos componentes**

Símbolo normatizado	Nome	Nome original	Significado do Acrônimo
B101	Tanque de nível 1	<i>Behälter</i>	<i>Behälter</i>
B102	Tanque de nível 2	<i>Behälter</i>	<i>Behälter</i>
B103	Tanque de pressão	<i>DruckBehälter</i>	<i>Behälter</i>
LIC B101	Sensor ultra-sônico	<i>Ultrasonic sensor</i>	<i>Level Indicator Controller</i>
FIC B102	Sensor de vazão	<i>Flow sensor</i>	<i>Flow Indicator Controller</i>
PIC B103	Sensor de pressão	<i>Pressure sensor</i>	<i>Pressure Indicator Controller</i>
TIC B104	Sensor de temperatura	<i>Temperature sensor</i>	<i>Temperature Indicator Controller</i>
LS- S112	Sensor bóia	<i>Float Switch</i>	<i>Level Switch Low</i>
LA+ S111			<i>Level Alarm High</i>
LS- S117			<i>Level Switch Low</i>
LS- B113	Sensores capacitivos	<i>Capacitive switches. prox.</i>	<i>Level Switch Low</i>
LS+ B114			<i>Level Switch High</i>
P101	Bomba	<i>Pump</i>	<i>Pump</i>
E104	Trocador de calor	<i>Heat Exchanger</i>	<i>Exchanger</i>
PI 105	Manômetro	<i>Pressure Gauge</i>	<i>Pressure indicator</i>
V102	Válvula esférica	<i>2-way ball valve</i>	<i>Valve</i>
V106	Válvula proporcional	<i>Proportional Valve</i>	<i>Valve</i>
V101, 103-105, 107-110 e 112	Válvulas manuais	<i>Valve</i>	<i>Valve</i>

Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

**Tabela 2- Conexões dos componentes**

Símbolo normatizado	Tipo de Conexão	Grandeza	Tipo de dado
LIC B101	Análogica	Sinal em corrente (4...20 mA) Convertido(A1) em: Tensão (0...10V) Linear 50...270mm	Int
FIC B102	Análogica	Frequência (40...1200Hz) Convertido 0...10V 0,3...9,0 l/min	Word
PIC B103	Análogica	"4...20mA (optional 0..10 V)" 0 ... 10 V 0 ... 50 mbar	Word
TIC B104	Análogica	Resistência(60,25...175,84Ω -100...200°C linear) convertida em: 0...10V 0...100°C	Word
LS- S112	Digital NA(Normal Aberto)	Tensão (Fonte 24V)	Bool
LA+ S111	Digital NF(Normal Fechado)	Tensão (Fonte 24V)	Bool
LS- B113	Digital NA(Normal Aberto)	Tensão (Fonte 24V)	Bool
LS+ B114	Digital NA(Normal Aberto)	Tensão (Fonte 24V)	Bool
P101	Digital (O2=0) (Relê K1)	Tensão 0V/24V	Manual
	Analogico (O2=1) (Controlador A4)	Tensão 0...10V	Word
V102	Sensores micro switch Digital S115 (Fechado) e Digital S116 (Aberto)	Tensão (Fonte 24V)	Bool
	Acionamento Digital Solenóide	Tensão (Fonte 24V)	Bool
V106	Análogica	Configurável 0 ... 10 V, 0 ... 20 mA, 4 ... 20 mA	Word
E104	Digital	230VAC comandado por relê 24VDC	Bool
VXXX	Controle Manual	-	Manual

Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

A Tabela 3 correlaciona os componentes pertencentes a determinado processo, com um "X" onde o elemento participa do processo e um "O" onde o elemento serve para alterar um modo de operação. Alternativamente pode-se consultar o ANEXO A, que descreve a configuração dos componentes para cada experimento.



**Tabela 3 - Componentes relacionados aos processos**

Símbolo normatizado	Nível	Vazão	Pressão	Temperatura
B101	X	X	X	X
B102	X			
B103			X	
LIC B101	X			
FIC B102		X		
PIC B103			X	
TIC B104				X
LS- S112	X			
LA+ S111	X	X	X	X
LS- S117				X
LS- B113	X	X	X	X
LS+ B114	X	X	X	X
P101	X	X	X	X
E104				X
PI105			X	
V101	X			
V102	X			
V103		X	X	
V104		O		X
V105	X	X	X	X
V106		O	O	
V107			X	
V108			X	
V109		X	O	
V110	X		X	
V112	X			

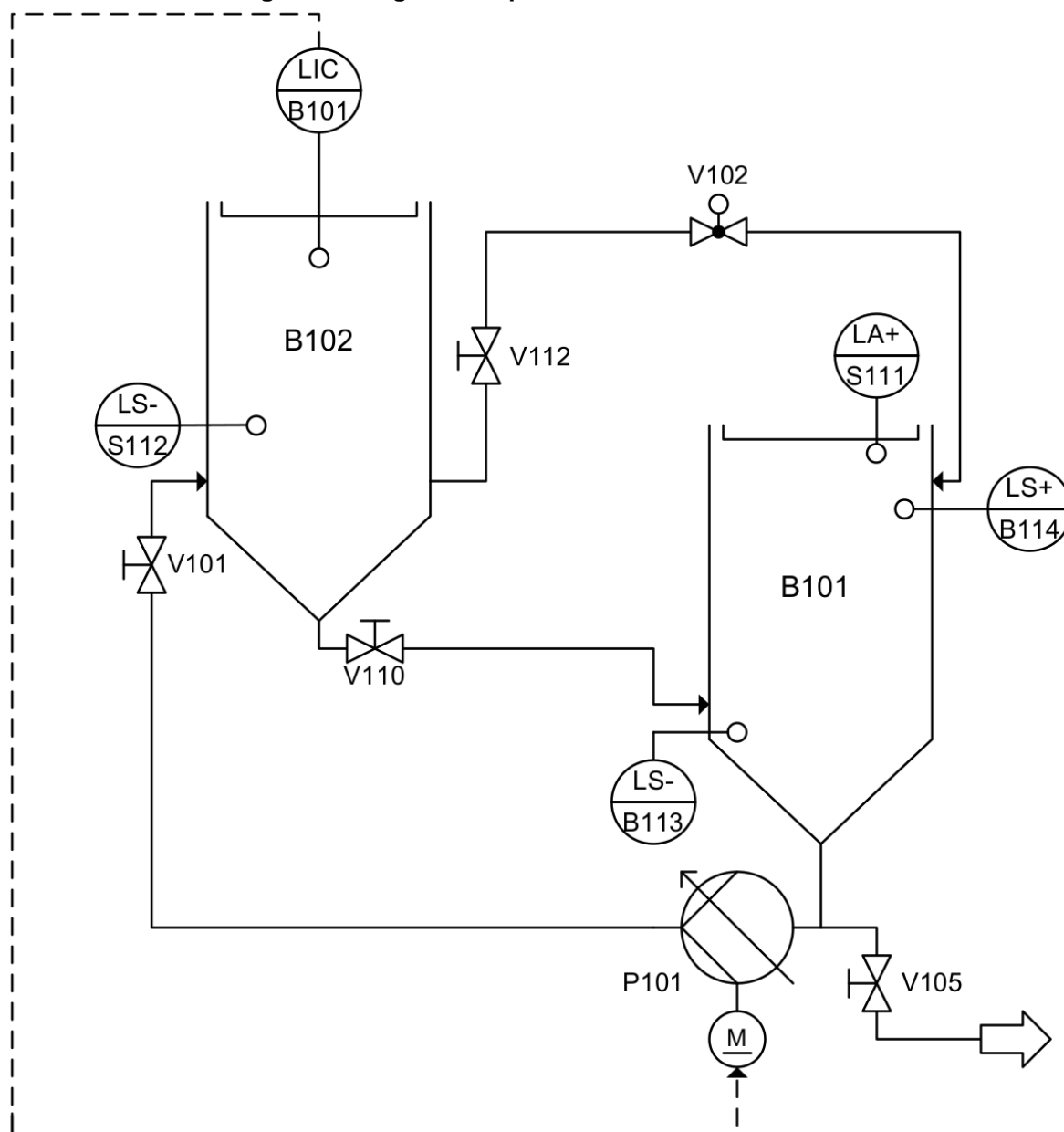
Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

### 3.5.1. Controle de nível

Controlar o nível é uma tarefa muito usual na indústria. Podemos controlar o nível de uma barragem para mantê-la segura e em plena operação; ou controlar o nível de um reservatório, como parte de um processo químico; ou controlar o nível para impedir que uma motobomba seja danificada, em caso de falta de água em uma caixa d'água. Os motivos de controlar o nível em algo são muitos, porém o processo aqui apresentado é estudado de forma genérica.

O processo de controle de nível (variável controlada), que pode ser visto na Figura 8, tem o objetivo de manter o tanque superior, o B102, no nível desejado.

Figura 8 - Diagrama do processo de controle de nível



Fonte: Manual MPS-PA Compact Workstation (2008)

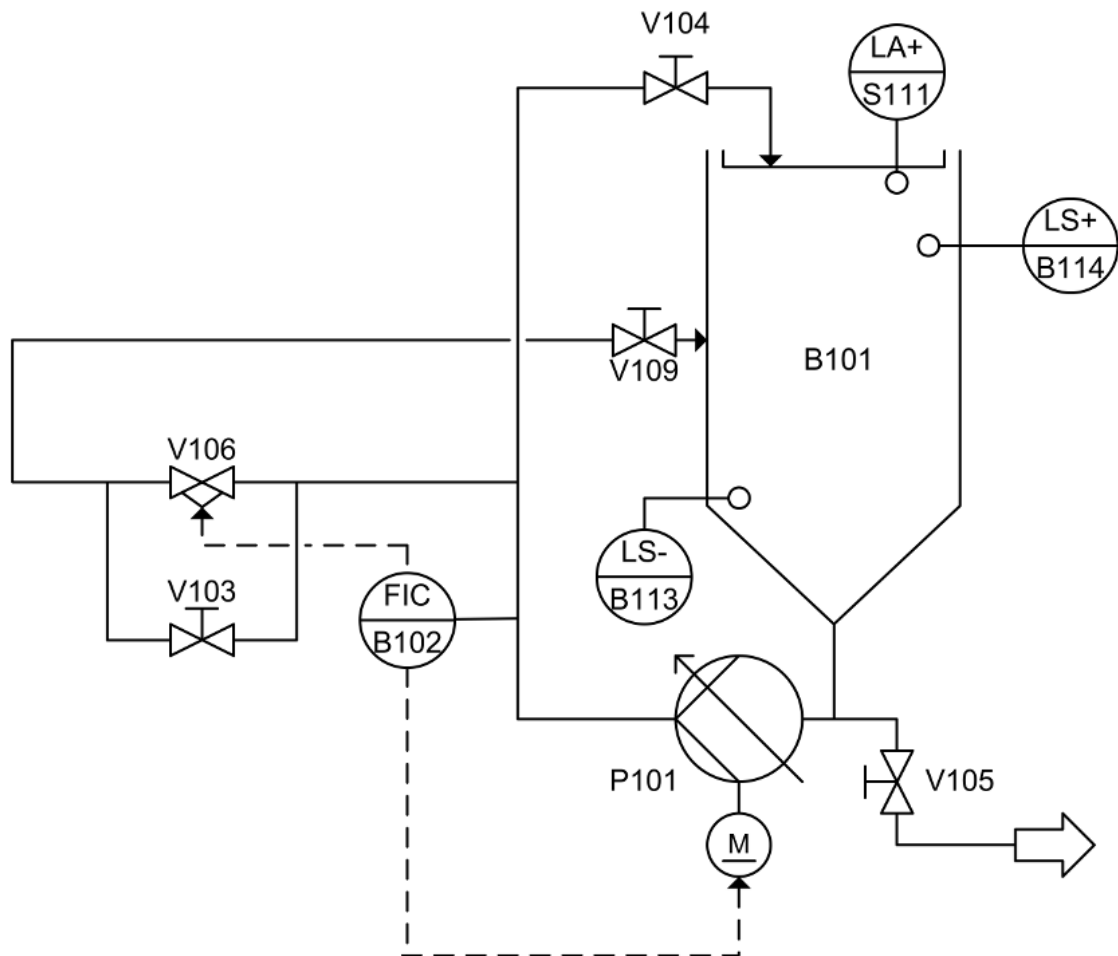
Para isto o sensor B101 (localizado acima do tanque B102), verifica, constantemente, o nível do fluido no tanque B102, e caso o nível do tanque esteja a baixo da referência (*setpoint*), o motor M é ativado, rotacionando a bomba P101, que transfere o fluido do tanque inferior, o B101, para o tanque B102. A vazão gerada em função da rotação da bomba P101 é a variável manipulada.

O controle da vazão de saída do tanque B102 para o tanque B101, com atuação gravitacional, pode ser realizado manualmente por meio das válvulas V110 e V112, ou por meio do acionamento elétrico da válvula esférica V102.

### 3.5.2. Controle de vazão

O processo de controle de vazão (variável controlada), que pode ser visto na Figura 9, tem o objetivo de manter a vazão de entrada no tanque B101 controlado.

Figura 9 - Diagrama do processo de controle de vazão



Fonte: Manual MPS-PA Compact Workstation (2008)

Para isto o processo pode ser realizado em dois modos de operação, bomba em velocidade variável ou em velocidade constante:

#### 3.5.2.1. Bomba em velocidade variável:

Apenas a válvula V104 (entrada) permanece aberta e é feita a leitura da vazão no sensor B102. De acordo com a vazão de referência, a velocidade de

rotação do motor da bomba (variável manipulada) é controlada para atingir o valor desejado.

#### 3.5.2.2. *Bomba em velocidade constante:*

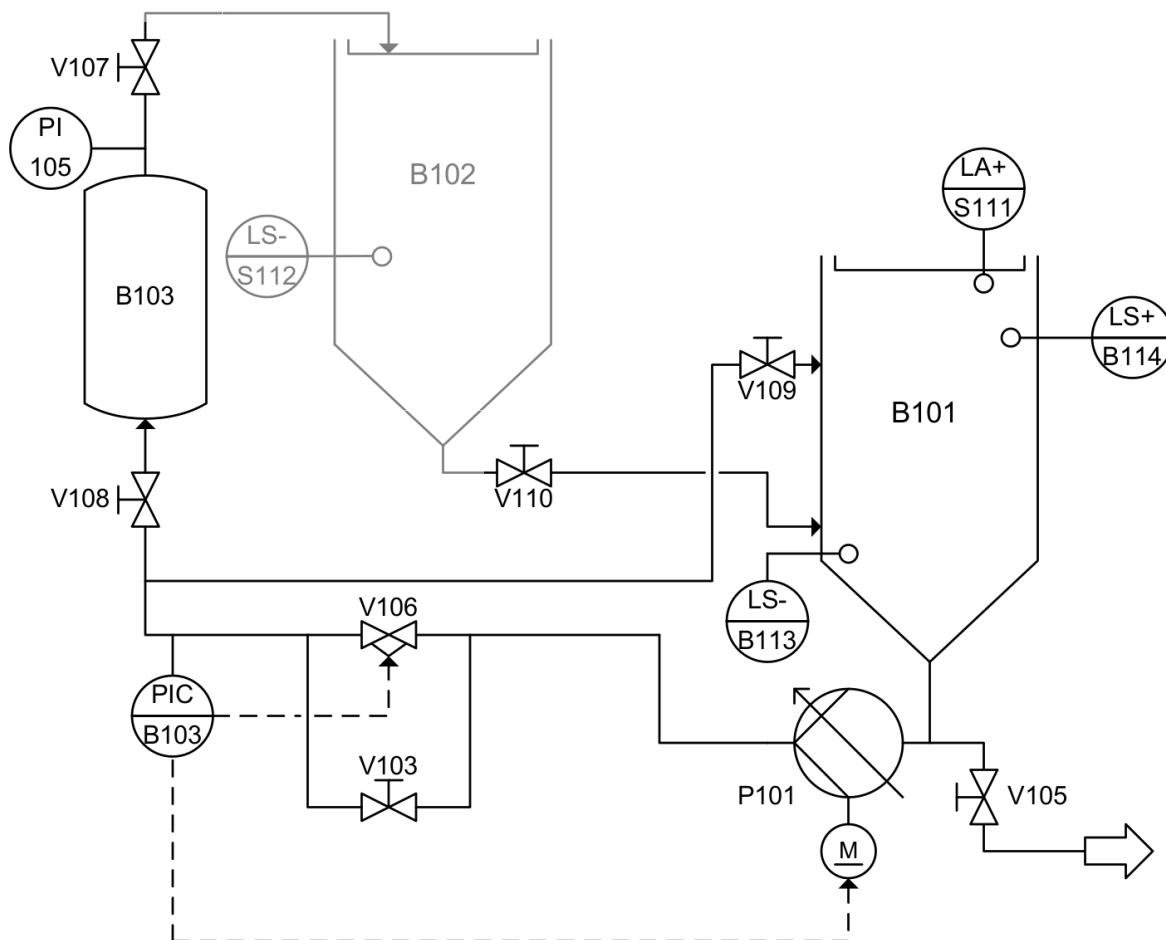
Neste modo de operação, V104 permanece fechada, V109 aberta (entrada), a bomba P101 trabalha com velocidade constante e vazão lida no sensor B102 é controlado pela atuação da válvula proporcional (variável manipulada) V106 de acordo com a referência desejada.

Adicionalmente, pode-se variar a válvula V104, para gerar perturbações.

#### 3.5.3. Controle de pressão

O processo de controle de pressão, que pode ser visto na Figura 10, tem o objetivo de manter a pressão (variável controlada) controlada no tanque B103. Para isto o fluido do tanque B101 é enviado para o tanque B103 por meio da bomba P101. O tanque B102 não participa deste processo.

**Figura 10 - Diagrama do processo de controle de pressão**



Fonte: Manual MPS-PA Compact Workstation (2008)

Semelhante ao processo de controle de vazão, o controle de pressão pode ser realizado em dois modos de operação, bomba em velocidade variável ou em velocidade constante. Em ambos os modos, a válvula V108 permanece aberta; V107, V110 e V105 fechadas; e V109 pode ser utilizada para gerar perturbação no sistema.

#### 3.5.3.1. *Bomba em velocidade variável:*

A válvula V103 permanece aberta e é feita a leitura da pressão no sensor B103. De acordo com a pressão de referência, a velocidade de rotação do motor da bomba (variável manipulada) é controlada para atingir o valor desejado.

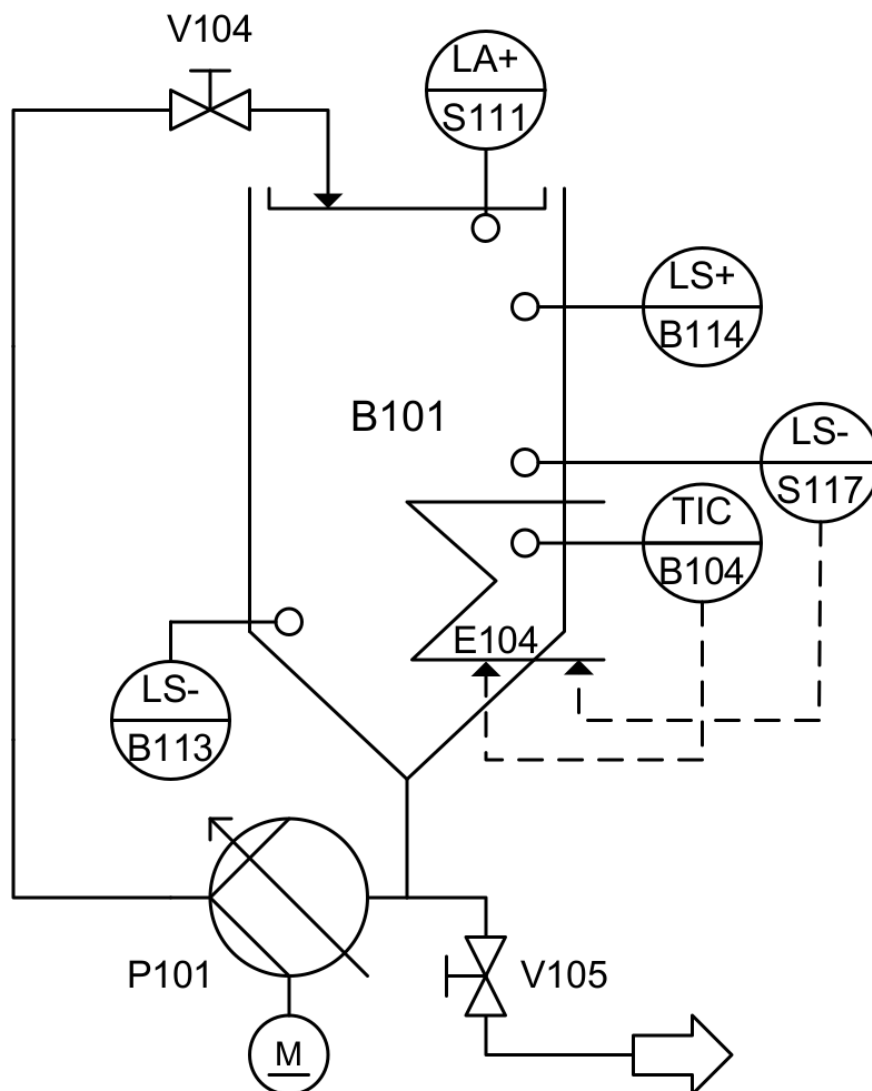
### 3.5.3.2. Bomba em velocidade constante:

A válvula V103 permanece fechada e a bomba P101 trabalha com velocidade constante e, com a atuação da válvula proporcional (variável manipulada) V106, o aumento da pressão no tanque B103 pode ser limitado de acordo com a referência desejada.

### 3.5.4. Controle de temperatura

O processo de controle de temperatura (variável controlada), que pode ser visto na Figura 11, tem o objetivo de manter o tanque B101 na temperatura desejada.

Figura 11 - Diagrama do processo de controle de temperatura



Afim de atingir o objetivo de controle - manter a temperatura lida pelo sensor B104 na referência desejada - o trocador de calor E104 pode ser ativado ou desativado.

### 3.6. CLP

O Controlador Lógico Programável (CLP) será responsável, neste projeto, por realizar, como a própria definição do termo, a lógica do sistema, por meio de uma programação chamada *Ladder*, controlando assim os dispositivos conectados a ele.

A programação *Ladder*, do português escada, tem esse nome justamente pelo seu formato gráfico (a Figura 12 ilustra esta característica), e funciona de forma linear e em *loop*, ou seja, o controlador lê linha após linha na sequência e retorna ao início reiniciando a leitura. Cada linha contém entrada as esquerda e saídas a direita. No mesmo os sensores são representados por barras verticais e os atuadores são representados por parênteses, como pode ser visto na Figura 12.

Figura 12 - Exemplo de programação *ladder*



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Os CLP são amplamente utilizados na indústria em dispositivos e sistemas de alto desempenho e confiabilidade. Muitos dos CLP contêm, além da lógica básica blocos para realizar funções matemática, conversões de dados e inclusive tarefas mais complexas como o controle PID.

As bancadas MPS-PA, disponíveis no IFSC, têm um CLP, do modelo S7-1200, integrado em seu sistema. Este modelo pode integrar-se ao Elipse E3 por meio de um *driver* chamado mprot.dll, usando o protocolo de comunicação Siemens ISOTCP encapsulado em Ethernet (Elipse, 2019)(Siemens, 2019).

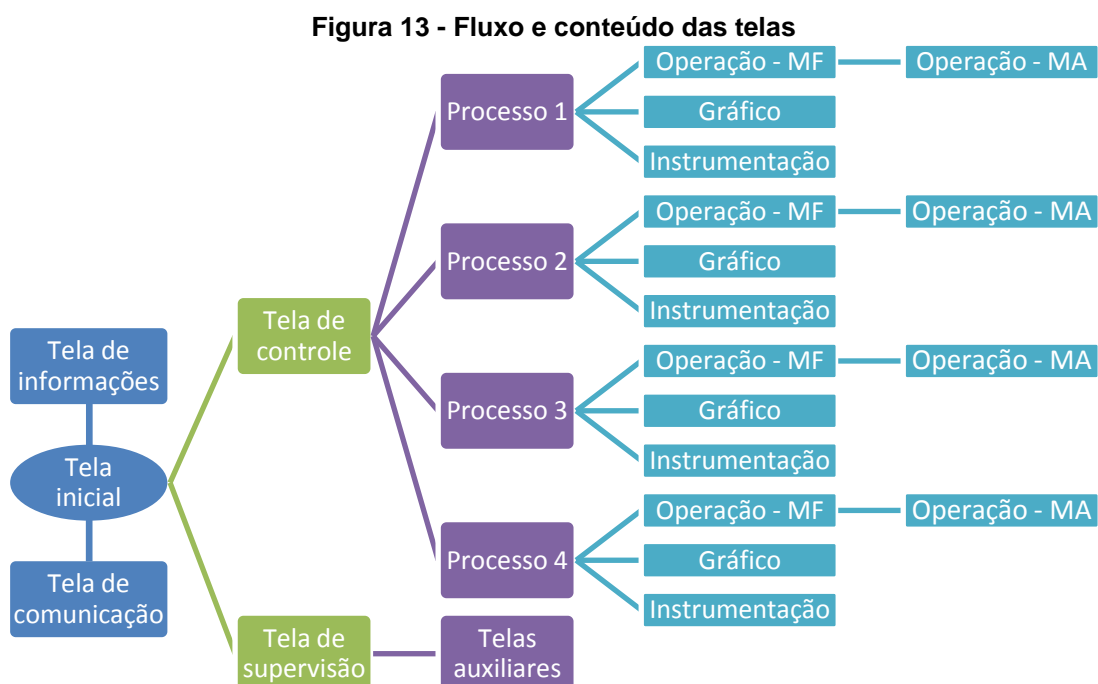
Um CLP pode ser simulado virtualmente, por meio de softwares, isto pode ser útil para testar funcionalidades e realizar simulações. O software Codesys é um exemplo deste tipo de software.



#### 4. PROJETO CONCEITUAL

O sistema completo é formado, conceitualmente, por uma bancada e um computador com o *software* e aplicação instalados. A aplicação SCADA por sua vez, que é o principal elemento a ser desenvolvido, será formado por diversas telas, representando os processos apresentados anteriormente, onde os usuários irão interagir com os objetos ali disponíveis, representando principalmente os elementos do sistema. Os usuários serão descritos aqui por duas definições, usuário aluno e usuário professor, representando respectivamente o aluno que está aprendendo a disciplina, e o professor ou administrador do sistema, onde cada tipo de usuário terá ou não restrições de acesso a determinados objetos ou telas.

Tratando de um *software* com fins didáticos, que o usuário (aluno) utilizará com baixa frequência, é importante que o software tenha características que tornem-no intuitivo, com isso o projeto seguiu a NBR 9241-11 que trata de usabilidade. Decidiu-se por criar um conceito em que o usuário possa diferenciar com clareza as telas voltadas para supervisão ("Tela de supervisão"), que seguem unicamente a norma de usabilidade NBR 9241-11, das telas com diagrama de instrumentação, padrão para o Controle de Processos ("Tela de controle"), que seguirá principalmente a norma ISA 5.1. Um diagrama, representando as transições e conteúdo das telas, pode ser visto na Figura 13.

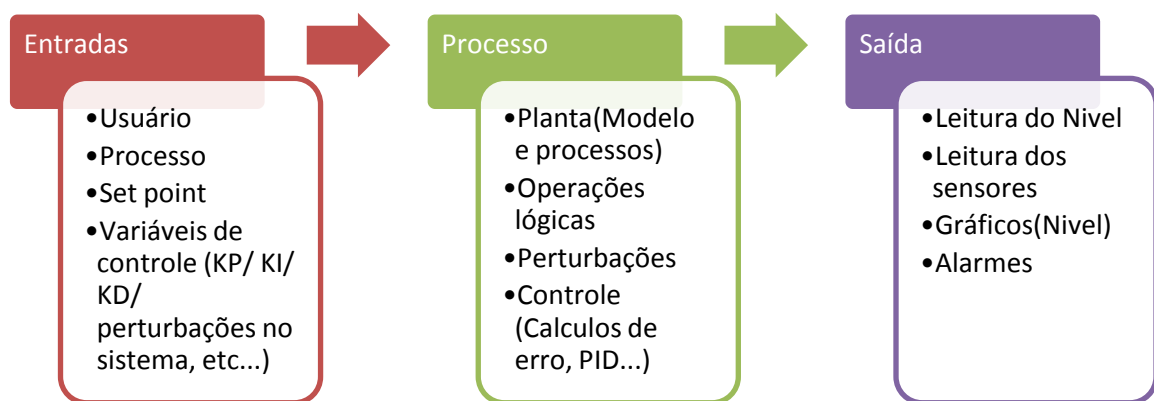


Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

O conceito elaborado, prevê uma "Tela inicial", que será a tela que abrirá por padrão com o perfil de usuário aluno, contendo opção de acesso (*login*) para que o usuário professor possa fazer as alterações específicas. Outras telas previstas, são uma "Tela de informações", contendo informações a respeito deste projeto e onde se encontram as documentações do mesmo e as Telas auxiliares, que são telas criadas para trazer informações detalhadas sobre determinado elemento do sistema, evitando assim excesso de informações nas telas principais.

O processo de controle em termos de entrada, processo e saída, no sistema SCADA, é resumido na Figura 14.

**Figura 14 - Entradas e saídas no sistema SCADA**



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Cada um dos itens da Figura 14, referentes as Entradas e Saídas, se tornará um ou mais objetos nas telas em que forem pertinentes. Os itens do Processo serão realizados principalmente pelo CLP, com exceção da variável perturbações que poderá ser processada pelo SCADA caso os testes tiverem resultados favoráveis a sua utilização.

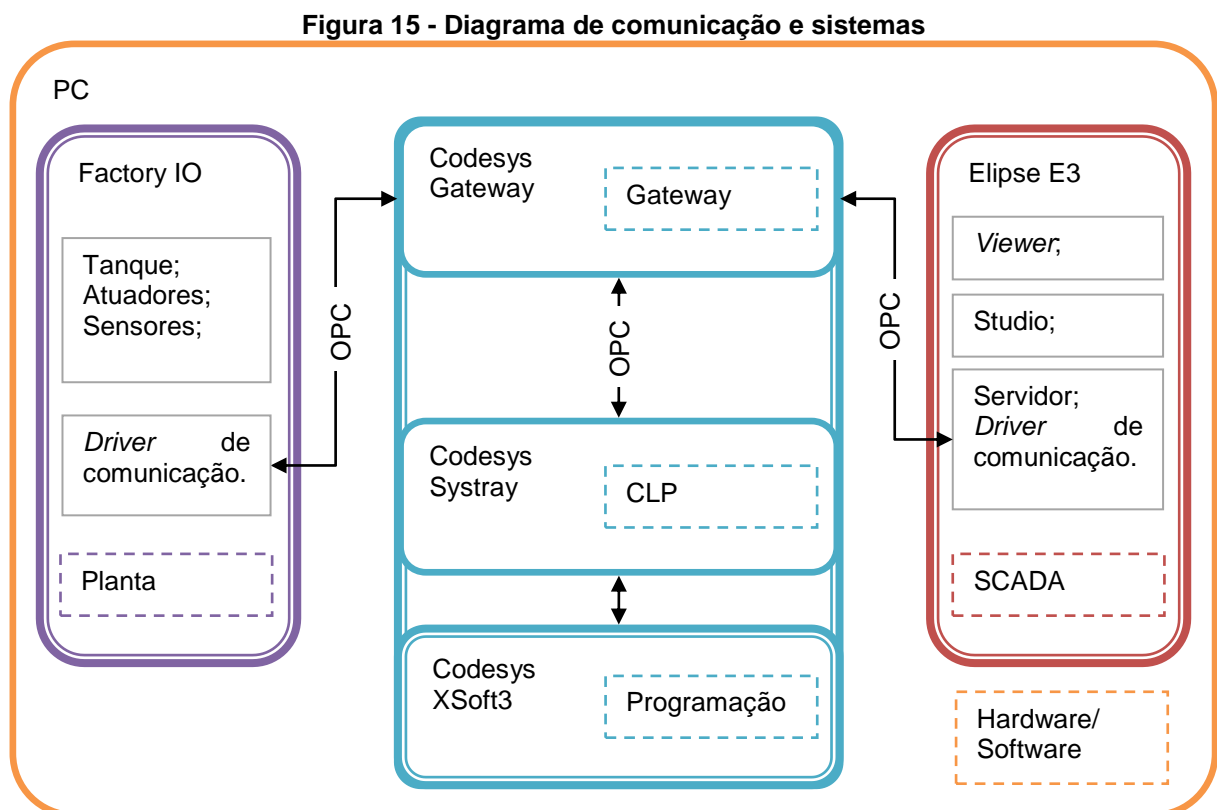
A configuração inicial dos componentes para cada processo seguirá as configurações do Apêndice A. Ao longo dos testes, caso seja conveniente, serão feitas alterações das configurações iniciais, visando as necessidades dos experimentos.

#### 4.1. Adequações extraordinárias

A partir da definição e validação do conceito, iniciou-se o desenvolvimento do projeto. Porém, por motivos extraordinários<sup>1</sup> o projeto sofreu as seguintes adequações:

- d) Simulação do CLP físico por meio do software Codesys (CLP Virtual)
- e) Simulação da Bancada física por meio do software Factory IO (Bancada Virtual)

Portanto o conteúdo da Figura 1 foi adaptado para o conteúdo do diagrama da Figura 15, na qual podemos verificar os conteúdos de cada software do sistema e as respectivas interfaces.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Inicialmente, planejou-se simular cada um dos processos, individualmente, assim como na bancada original, porém, o software Factory IO não

<sup>1</sup> Restrições de uso das imediações do IFSC, por consequência o uso da bancada física, relacionadas à pandemia de COVID-19 (PROPPI, 2020, p.1).

disponibiliza componentes similares aos processos de temperatura e pressão. Além desta limitação, a recomendação do hardware disponível durante a execução do projeto estava abaixo da recomendação mínima de uso do software Factory IO causando instabilidades durante o uso. Com isso, decidiu-se concentrar as atividades apenas no "Processo 1", o controle de nível.

Com o "Processo 1" definido como base para validação, fez-se necessária a programação adequada, no *software* Codesys, ao processo disponível no *software* Factory IO. Este processo tem características dinâmicas diferentes do processo da bancada física, porém o objetivo é validar o sistema SCADA para o controle de nível genérico. A partir desta diretriz, o software deve ter, basicamente, uma programação contendo a lógica básica de acionamento elétrico e o controle PID.

Com as adequações definidas, várias das informações coletadas do projeto informacional e algumas das definições do projeto conceitual não foram aproveitadas, porém não foram retiradas deste trabalho, pois a documentação pode ser utilizada posteriormente para algum projeto que retome os objetivos originais.

## 5. PROJETO PRELIMINAR

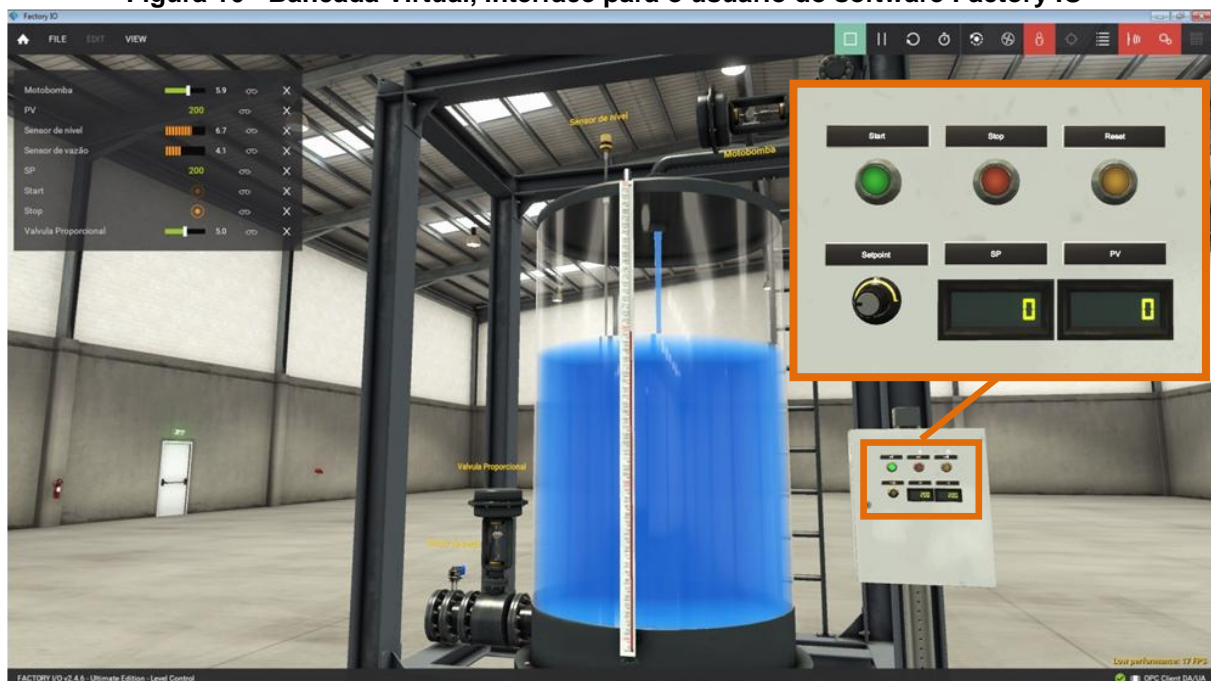
O desenvolvimento do projeto foi executado em duas etapas. A primeira etapa de desenvolvimento consistiu em recriar virtualmente o equivalente à bancada e ao CLP. Para isso foram utilizados os softwares Factory IO e Codesys, respectivamente. A segunda etapa foi o desenvolvimento da aplicação SCADA.

### 5.1. Simulação da bancada

O software Factory IO dispõe de uma interface muito simples, que o usuário pode navegar de forma 3D no ambiente realístico, com temática industrial, simulando fielmente o comportamento físico dos objetos, que são chamados de *Parts* no software.

Para o processo de controle de nível, o mesmo dispõe de um objeto (*Part*) chamado *Tank*, mostrado na Figura 16, que contém duas válvulas de controle, um sensor capacitivo e um sensor de fluxo (Real Games, 2021). No âmbito do software esse objeto é padronizado e não pode ser alterado ou desmembrado internamente.

Figura 16 - Bancada Virtual, interface para o usuário do software Factory IO



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Ainda na interface do usuário, além do *Tank*, está disposto um objeto painel (direita da Figura 16), composto de três botoeiras iluminadas, um

potenciômetro e dois *displays*. Estes objetos tem propriedades específicas simulando as especificações comuns da indústria como, por exemplo, o tensão de posicionamento da válvula que tem a faixa de valores entre 0V e 10V.

O protocolo de comunicação escolhido para o sistema foi o OPC UA, que é o padrão industrial de interoperabilidade (OPC Foundation, 2021). Para esta comunicação é utilizado um drive específico que se comunica com o servidor do *software* Codesys. A configuração do *driver*, na Figura 17, é feita de forma simples, arrastando os sensores (*sensors*) e atuadores (*actuators*) das extremidades para as respectivas *tags* de comunicação criadas no CLP posicionado no centro.

Figura 17 - Tela de configuração do *driver*



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

## 5.2. Simulação do CLP

O software Codesys pode ser chamado também de sistema, pois é trata-se de um conjunto de softwares e serviços. Para o funcionamento no sistema implementado utilizou-se os softwares XSOFT, Gateway Sys Tray e Control Sys Tray. Estes dois últimos fazem interface com um serviço relacionados a, respectivamente, interface de comunicação OPC e CLP virtual.

O programa do CLP, realizado no software XSOFT em linguagem *Ladder*, foi criado de forma a se adequar as características da Bancada Virtual. Seu

funcionamento pode ser visualizado no fluxograma do APÊNDICE A. No APÊNDICE B é possível verificar as variáveis contendo comentários com a descrição de cada variável e, na sequência, o diagrama em *Ladder*. A linha 1 representa o acionamento da função *play* do software Factory IO por meio da aplicação SCADA. A Bancada Virtual (Figura 16), dispõe do painel de comandos, que tem sua lógica representada nas linhas 2 e 3. A linha 4 contém inicialmente dois contatos, o "\_Remoto" (NF) e o "STARTLIGHT" (NA), que são acionados quando deseja-se que a conversão de valores de SP da Bancada Virtual não seja realizado, por exemplo, quando o usuário está operando pelo SCADA. Continuando nas linhas 4, 5 e 6 os blocos "MUL" e "REAL\_TO\_INT" representam as conversões dos valores de tensão (0-10V) em litros (0-300l) e do tipo de dado de Real para tipo Int, do SP e do sensor de nível, respectivamente. As conversões para Int são realizadas para compatibilidade com os displays. Na linha 7 está representado o bloco de PID.

O bloco PID adicionado utilizando uma biblioteca chamada Util, instalada como conteúdo adicional, que funciona como uma função PID, representada matematicamente na Equação 1, com entradas e saídas de acordo com a Tabela 4. Esse bloco foi configurado para receber o comando \_MALHA\_ABERTA, enviado pelo SCADA e os comandos \_RESET e STOPLIGHT para a entrada RESET do bloco PID.

$$Y = KP. (e + 1/TN \int edt + TV \delta e / \delta t) + Y\_OFFSET \quad (2)$$

Onde:

Y = saída

e = erro

t = tempo

Demais variáveis na Tabela 4

**Tabela 4 - Entradas e saídas do bloco PID**

Variável	Tipo de dado	Descrição
ACTUAL	Real	Valor atual da variável controlada
SET_POINT	Real	Valor desejado, variável de comando
KP	Real	Coeficiente Proporcional, ganho P
TN	Real	Tempo de Reset (em segundos), relativo ao ganho I
TV	Real	Tempo de ação Derivativo (em segundos), relativo ao ganho D
Y_MANUAL	Real	Define o valor de saída Y quando MANUAL = TRUE
Y_OFFSET	Real	Offset para variável manipulada Y
Y_MIN, Y_MAX	Real	Limites inferior e superior de Y
MANUAL	Bool	Ativa a função MANUAL.
RESET	Bool	Reinicia o controlador se RESET = TRUE, Y = Y_OFFSET.
Y	Real	Variável manipulada.
LIMITS_ACTIVE	Bool	TRUE indica que Y excedeu os valores Y_MIN e Y_MAX.
OVERFLOW	Bool	TRUE indica um Overflow devido a parametrização incorreta.

Fonte: Adaptado de Codesys (2021)

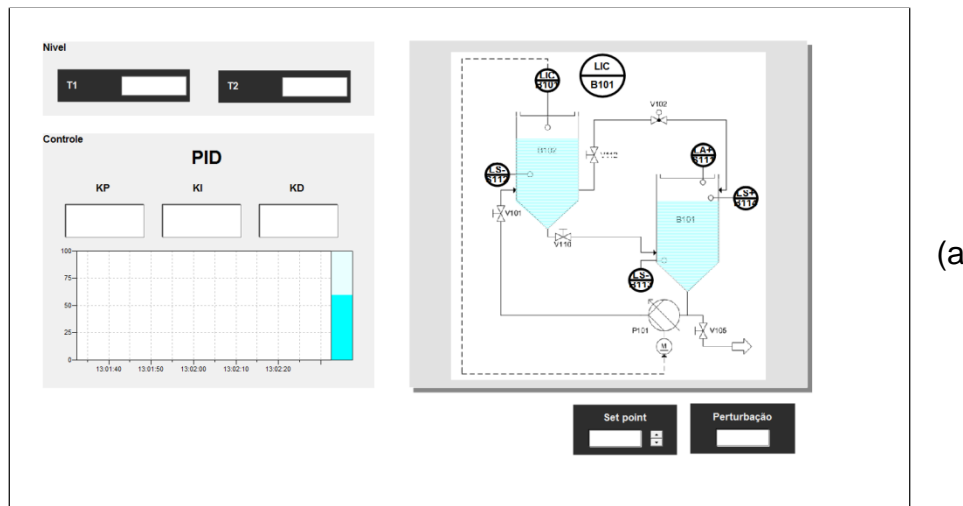
### 5.3. Aplicação SCADA

O desenvolvimento da aplicação SCADA foi dividida em diversas etapas, pois como não havia uma definição sólida a respeito da utilização da bancada física, optou-se por adiantar ou adiar o desenvolvimento de certas partes visando a otimização de cumprir os objetivos dentro dos prazos.

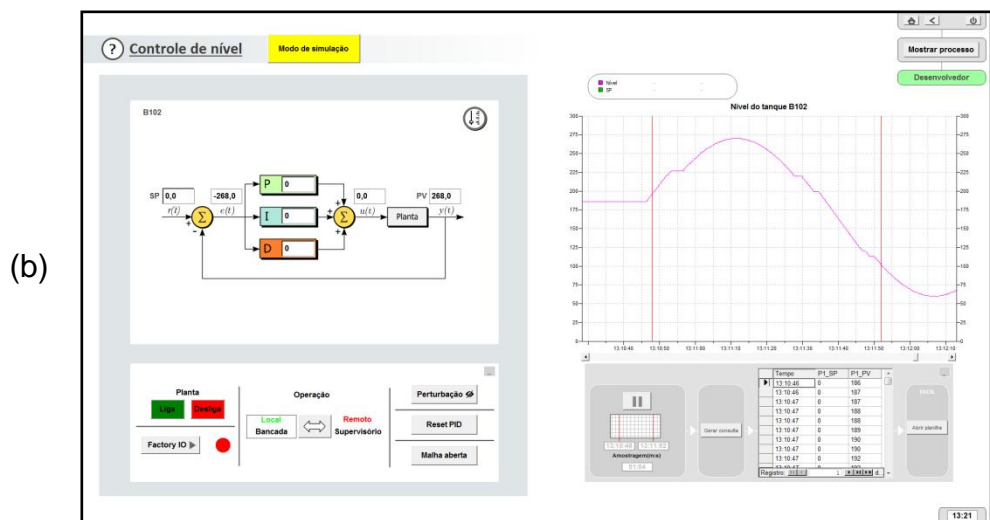
As etapas, de forma resumida, iniciaram com uma versão conceitual (Figura 18 - a), para validação de telas e conteúdo. Na sequência uma versão para validação de testes de comunicação com a Bancada Virtual (Codesys e Factory IO) sem PID. Por último duas versões de validação, uma apenas com a validação do bloco de PID e outra com funcionalidades extras (Figura 18 - b), como informações para o usuário, consulta de histórico, gráfico em tempo real e histórico e exportação de dados, de modo a cumprir com o objetivo principal deste trabalho.



Figura 18 - Evolução da disposição e conteúdo do SCADA



(a)



(b)

Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

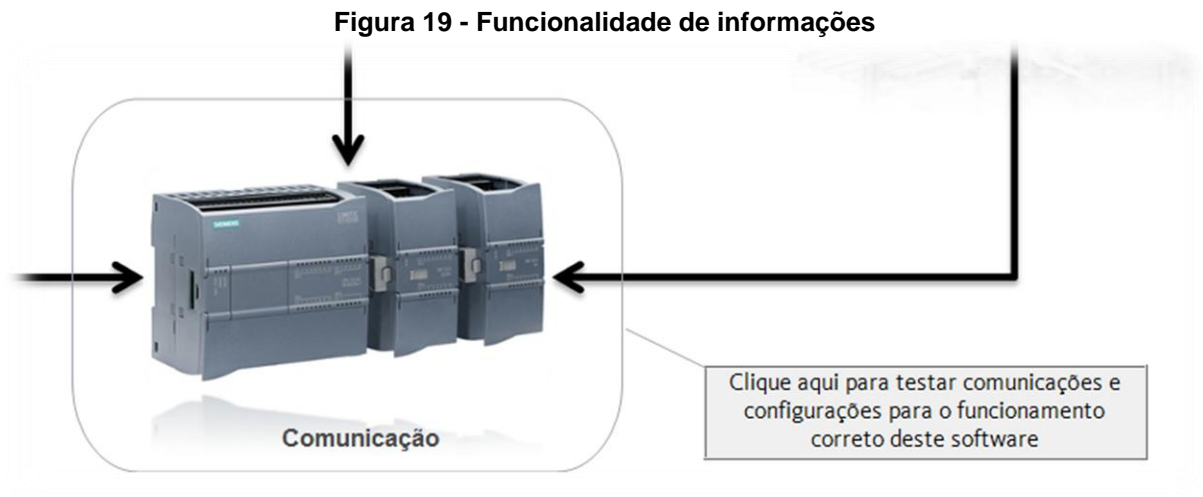
### 5.3.1. Telas e Quadros

O fluxo de telas seguiu o planejado do projeto conceitual (Figura 13) e neste tópico será apresentado o conteúdo de cada uma das telas e quadros. No APÊNDICE C é possível consultar todas as telas deste projeto.

#### Tela inicial

A "Tela inicial" (APÊNDICE C) é a tela que abre por padrão ao iniciar a aplicação, esta tela contém quatro figuras principais, representando as telas subsequentes disponíveis para o usuário, optou-se aqui por deixar poucas informações visíveis afim de melhorar a usabilidade, contendo uma frase em contraste no centro da tela chamando a atenção do usuário para o que ele deve fazer, "Selecione um dos modos abaixo". Aqui foi implementado uma funcionalidade

que altera a propriedade *visible* (visível) de um grupo de objetos, quando o ponteiro passa por cima da figura, mostrando assim informações extras para o usuário, à exemplo da Figura 19. Além disto no canto superior direito foi criado um menu de acesso rápido e no canto inferior direito um relógio, ambos disponíveis em todas as telas.

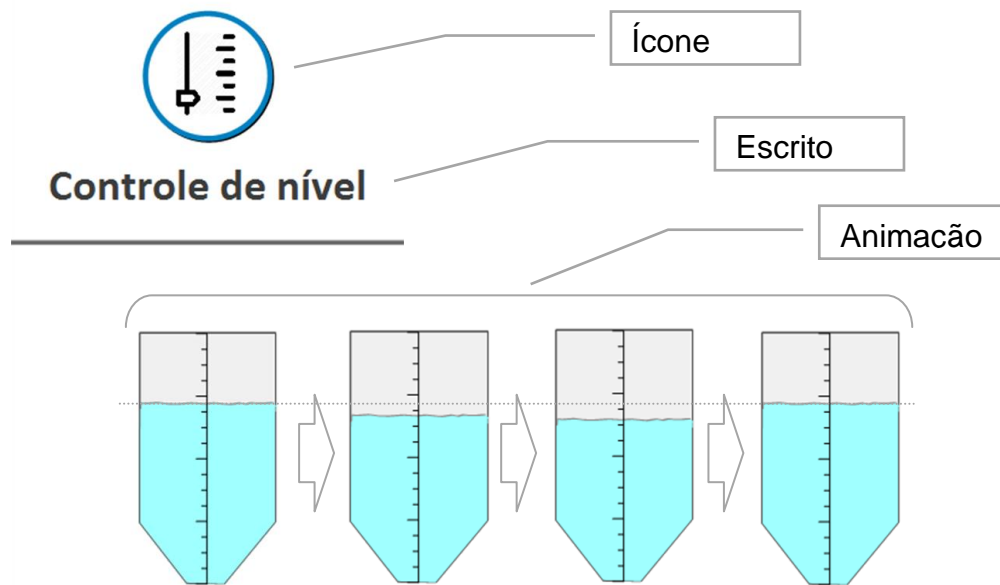


Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

#### 5.3.1.1. Tela de controle

Ao clicar na área "Controle" da imagem ocorre uma mudança para a "Tela de controle" (APÊNDICE C), onde o usuário pode visualizar áreas contendo os quatro processos a serem estudados. Nesta tela, também pensando na usabilidade, foram inseridos os objetos de forma a pensar nas informações dentro dos aspectos de percepção e compreensão, contendo informações icônicas, escritas e compreensão temporal (movimento) ilustrados na Figura 20. A criação das animações foi feita por forma de associação de uma *tag demo*, no caso da Figura 20 do tipo senoide.

Figura 20 - Implementações "Tela de controle"



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

#### 5.3.1.2. Quadro de processos

Selecionando um dos processos, o usuário acessa um quadro (nomeadas "Q\_processo1, 2, 3 e 4"), como visto na Figura 18 - b, com uma divisão vertical (não visível ao usuário), onde na esquerda é aberto a tela de "operação do processo" (nomeadas "Processo 1, 2, 3 e 4") e na direita, inicialmente, a visualização do processo (nomeadas "Processo 1, 2, 3 e 4 - Instr"). Chamamos de "operação do processo" pois o usuário utiliza esta tela para principalmente inserir dados e executar operações, como inserir valores de PID, SP, alternar entre modo remoto e local, reiniciar o controle PID, etc. no quadro dos processos. Na parte direita do quadro temos, além da visualização do processo, as telas de gráfico (nomeadas "Processo 1, 2, 3 e 4 - Graf")

Na tela de processos, a maioria das lógicas responsáveis por realizar estas operações, é feita por associações com *tags* do *driver* OPC (explicado com mais detalhes no capítulo "Driver OPC do SCADA"). A parte lógica realizada por scripts, da tela de processos, é responsável por automatizar os processos. Esta automação majoritariamente é feita nas transições das telas de Operação, sendo expressas de forma inteligível no diagrama da Figura 21. A telas referenciadas como operação foram nomeadas "Processo 1" (malha fechada) e "Processo 1 - Malha aberta" disponíveis para visualização no APÊNDICE C.

**Figura 21 - Scripts de troca de processos na forma inteligível**

→ Acesso do Processo MF

- Atribui o valor '0' para 'DriverOPC1.GrupoOPC1.[\_MALHA\_ABERTA].Value'.
- Atribui o valor '0' para 'Dados.Simula\_CLP.Sim\_Nivel.Enabled'.
- Atribui o valor '10' para 'DriverOPC1.GrupoOPC1.Y\_max.Value'.

→ Acesso do Processo MA

- Atribui o valor '1' para 'DriverOPC1.GrupoOPC1.[\_MALHA\_ABERTA].Value'.
- Atribui o valor '1' para 'DriverOPC1.GrupoOPC1.[\_RESET].Value'.
- Atribui o valor '0' para 'DriverOPC1.GrupoOPC1.[\_RESET].Value'.
- Atribui o valor '1' para 'DriverOPC1.GrupoOPC1.KP.Value'.
- Atribui o valor '1' para 'DriverOPC1.GrupoOPC1.TN.Value'.
- Atribui o valor '0' para 'DriverOPC1.GrupoOPC1.TV.Value'.

Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

As telas do quadro de processos (nomeadas "Q\_processo1, 2, 3 e 4"), organizadas divisor direito, são as telas "Processo 1 - Instr" e "Processo 1 - Graf", apresentadas no (APÊNDICE C). Na tela "Processo 1 - Instr" o usuário visualiza o processo segundo a norma de instrumentação, ISA 5.1, contendo o diagrama do processo que está sendo estudado (Figura 8, Figura 9, Figura 10 e Figura 11) e adicionalmente há uma animação representando as variações da variável do processo.











#### 5.3.1.3. Tela de comunicações

É comum um usuário ter dúvidas de como operar um software, para isso foi criada uma tela com intuito de explicar o que usuário deve fazer para operar o software. Esta tela foi nomeada "Instruções Processo 1", apresentada no (APÊNDICE C), acessada na tela "Processo 1" no botão representado por um botão "?" localizado no canto superior esquerdo.

Outra situação recorrente em sistemas que integrados, é a perda de comunicação entre seus elementos. Afim de contornar tal situação, foi criada uma tela de testes (nomeada "Tela\_TestesCodesys", no APÊNDICE C), que contém diversas funcionalidades. Iniciando pelas funções do menu de testes, a esquerda da tela, mostrada com detalhes na Figura 22, cada componente é mostrado na primeira

coluna do menu. Foram deixados espaços para "Bancada" e "CLP" em branco propositalmente, para possibilidade de implementações futuras, voltadas a cumprir o escopo do projeto original.

Figura 22 - Menu de testes

Componente	Atalho	Status de comunicação	Instruções
Bancada	—		
CLP	—		
Codesys Systray			 Start PLC
Codesys Xsoft		 	 
Factory IO			Scenes > My scennes > Level control

Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Na segunda coluna existem atalhos que permitem o usuário abrir outros softwares relacionados ao funcionamento. Na terceira coluna é verificado o status de comunicação com o *software* ou serviço, alterando as cores da sinaleira (na Figura 22 em azul) para verde ou vermelha de acordo com a verificação da execução do *software* em questão, por meio do script, como no exemplo da Figura 23, que verifica a existência do executável responsável pelo serviço relacionado ao *gateway* de

comunicações. Na última coluna estão representados instruções extras, relacionadas ao componente da linha.

**Figura 23 - Script de verificação de processo em execução**

```

1 Sub Com_CS_OnStartRunning()
2 set objService = getobject("winmgmts:")
3 for each Process in objService.InstancesOf("Win32_process")
4     if Process.Name = "GatewayService.exe" then
5         a = 1
6     end if
7 Next
8
9 if a = 1 then
10     ForegroundColor=(RGB(0, 255, 0))
11 else
12     ForegroundColor=(RGB(255, 0, 0))
13 end if
14 End Sub

```

Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

#### 5.3.1.4. Tela de supervisão

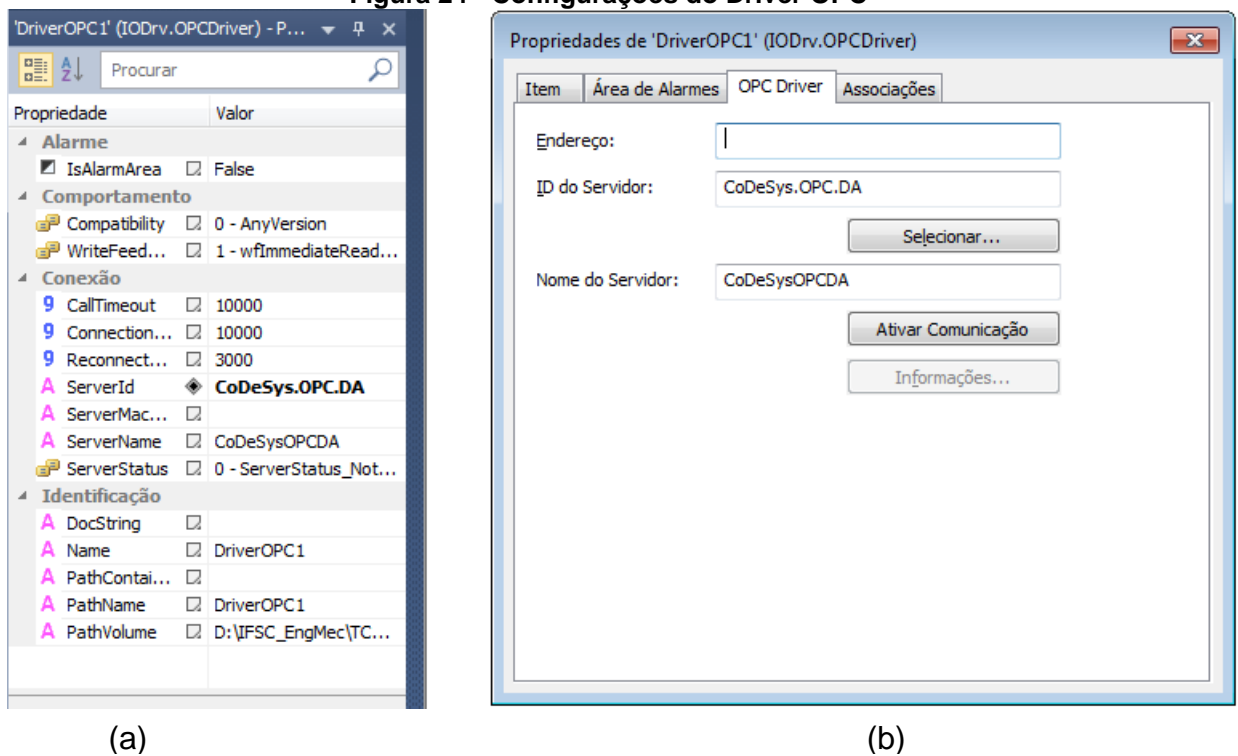
A tela de supervisão (APÊNDICE C, "Tela\_Supervisorio") foi criada para estudos adicionais. Nela é possível visualizar todos os processos simultaneamente, de forma simplificada, na forma de tela sinótica, alusivo a um processo industrial. Esta tela não foi terminada por completo, pois não era objetivo do projeto, e somente um processo estava disponível, porém a parte do "Processo 1" ficou funcional.

Esta tela foi projetada usando a biblioteca HighPerformance da Elipse, que é voltada para implementação de sistemas supervisórios visando alto desempenho e seguindo normas nacionais e internacionais NBR ISO 9241-11 (Elipse Software, 2021). O que pode ser muito útil como exemplo em uma aula de que trate do assunto no curso de Mecatrônica.

#### 5.3.2. Driver OPC no SCADA

A configuração da comunicação OPC foi feita por meio da seleção do servidor, criado previamente no software Codesys, utilizando as configurações mostradas na Figura 24 (b) e as propriedades de acordo com a Figura 24 (a).

Figura 24 - Configurações do Driver OPC



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

As *Tags* de comunicação, mostradas na Figura 25 realizam, cada uma, a leitura da variável correspondente no intervalo de 50ms. A versão de demonstração, empregada no projeto, permite a leitura de no máximo 20 *Tags*, número exato de *Tags* utilizadas.

**Figura 25 - Tags de comunicação do driver OPC**

Nome	ID do Item	Varredura
DriverOPC1		
GrupoOPC1		50
_SENSORNIVEL	PLC_GW3.Application.PLC_PRG._SENSORNIVEL	
_SETPOINT	PLC_GW3.Application.PLC_PRG._SETPOINT	
_START	PLC_GW3.Application.PLC_PRG._START	
_STOP	PLC_GW3.Application.PLC_PRG._STOP	
FILLVALVE	PLC_GW3.Application.PLC_PRG.FILLVALVE	
PV	PLC_GW3.Application.PLC_PRG.PV	
SP	PLC_GW3.Application.PLC_PRG.SP	
STARTLIGHT	PLC_GW3.Application.PLC_PRG.STARTLIGHT	
STOPLIGHT	PLC_GW3.Application.PLC_PRG.STOPLIGHT	
Run_Remote	PLC_GW3.Application.PLC_PRG.Run_Remote	
KP	PLC_GW3.Application.PLC_PRG.KP	
TN	PLC_GW3.Application.PLC_PRG.TN	
TV	PLC_GW3.Application.PLC_PRG.TV	
_REMOTO	PLC_GW3.Application.PLC_PRG._REMOTO	
Temp_SP	PLC_GW3.Application.PLC_PRG.Temp_SP	
_MALHA_ABERTA	PLC_GW3.Application.PLC_PRG._MALHA_ABERTA	
_RESET	PLC_GW3.Application.PLC_PRG._RESET	
DISCH	PLC_GW3.Application.PLC_PRG.DISCH	
Y_Manual	PLC_GW3.Application.PLC_PRG.Y_Manual	
Y_max	PLC_GW3.Application.PLC_PRG.Y_max	

Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

### 5.3.3. Banco de dados

Visando o desempenho do sistema, optou-se por utilizar o banco de dados Access, o de implementação mais simples, dentre os recomendados pela Elipse, porém o mais adequado. O banco de dados foi criado externamente, com o nome "BD\_CBN.mdb" e configurado no próprio Elipse E3, contendo os campos e configurações de acordo com a Figura 26.

**Figura 26 - Configurações do banco de dados**

Nome	Tipo	Fonte
Hist1		
Fields		
E3TimeStamp	3 - fdDateTime	
P1_PV	2 - fdDouble	DriverOPC1.GrupoOPC1.PV.Value
P1_SP	1 - fdInteger	DriverOPC1.GrupoOPC1.Temp_SP.Value
P1_Atuator	1 - fdInteger	DriverOPC1.GrupoOPC1.FILLVALVE.Value
PrimaryKey		

Fonte: Elaborado pelo autor (2021)



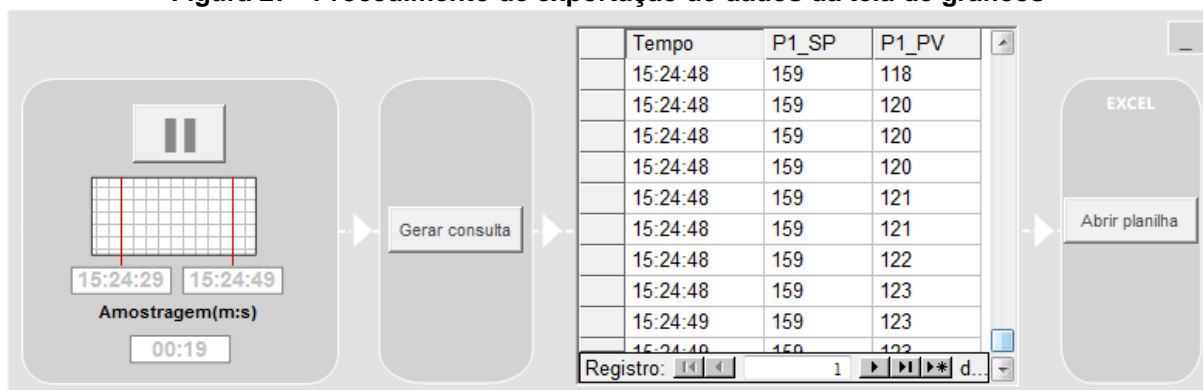
### 5.3.4. Relatórios

O software Elipse E3, contém uma ferramenta dedicada a impressão de relatórios, porém não foi possível a utilização desta, pois na versão de demonstração a mesma não está disponível. Esta ferramenta seria útil para demonstração dos resultados nas conclusões deste trabalho.

A fim de contornar a situação foi criado um procedimento (Figura 27, retirado da tela "Processo 1 - Graf") que consiste em uma visualização gráfica de etapas, mostradas na Figura 27 da esquerda para a direita, na qual o usuário, intuitivamente:

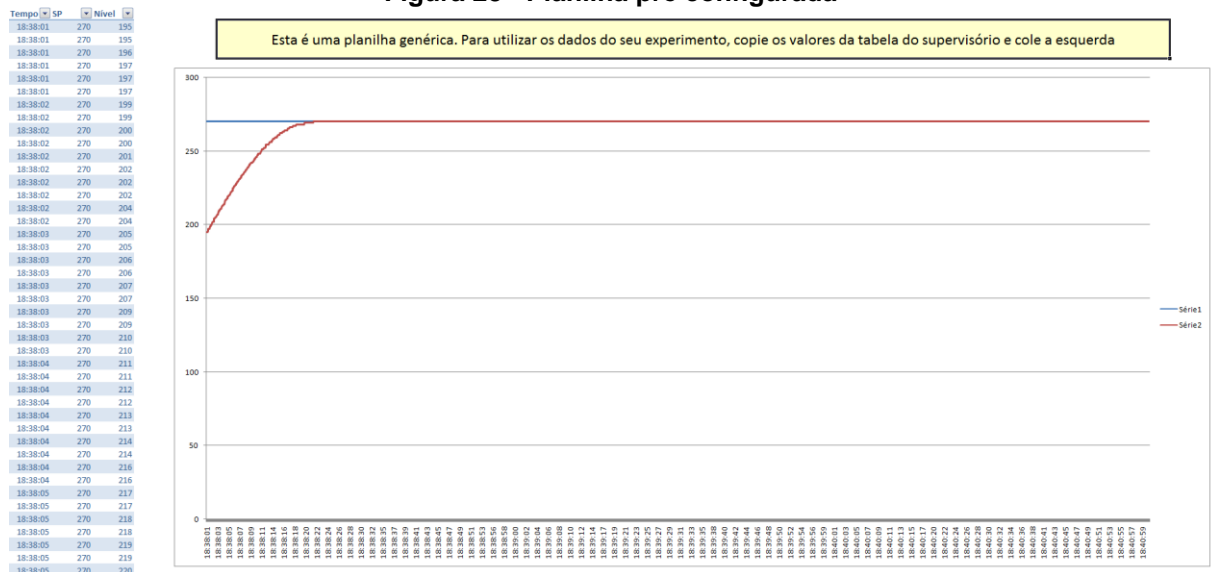
- a) Seleciona o intervalo da amostra, por meio das barras verticais que aparecem no gráfico, podendo "pausar" o gráfico, se necessário;
- b) Gera a consulta com o botão "Gerar consulta";
- c) Seleciona os dados no objeto de consulta;
- d) Exporta os dados "manualmente" para a planilha, utilizando o botão "Abrir planilha" para abrir uma planilha pré configurada, conforme a Figura 28.

**Figura 27 - Procedimento de exportação de dados da tela de gráficos**



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Figura 28 - Planilha pré configurada



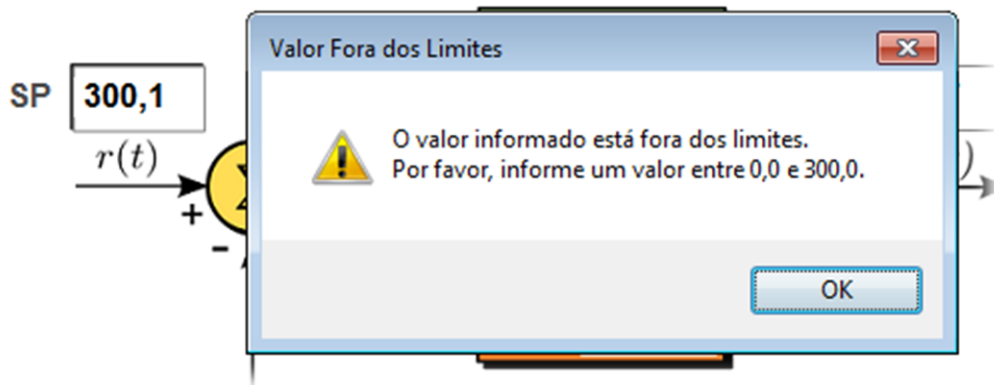
Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

### 5.3.5. Implementações Adicionais

Foram feitas diversas outras implementações menores e repetitivas, além do que foi mostrado anteriormente, por tratar-se de pormenores decidiu-se não estender este trabalho a todas. Porém serão apresentados a seguir algumas para justificar o cumprimento da proposta de usabilidade.

Em alguns dos objetos SetPoint do Elipse, foram habilitados limitadores que não permitem ao usuário inserir valores acima do esperado, como exemplo a Figura 29.

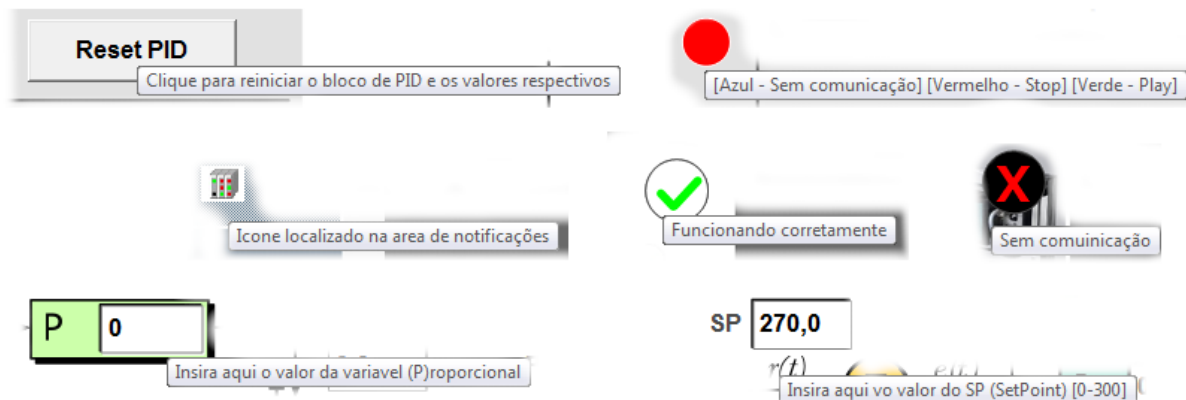
Figura 29 - Limites de valores do objeto SetPoint na entrada de dados do SP



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Foram implementados alguns recursos de *tip* (dica) que servem para instruir o usuário sobre o objeto que está com a propriedade *mouse over* ativada (ponteiro sobre o objeto). Alguns exemplos na Figura 30.

Figura 30 - *Tips* implementadas



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

## 6. PROJETO DETALHADO

O projeto detalhado em um software, principalmente voltado para usabilidade tem sua fase quase em paralelo com a etapa preliminar, pois as necessidades de implementações geralmente ocorrem ao longo dos testes.

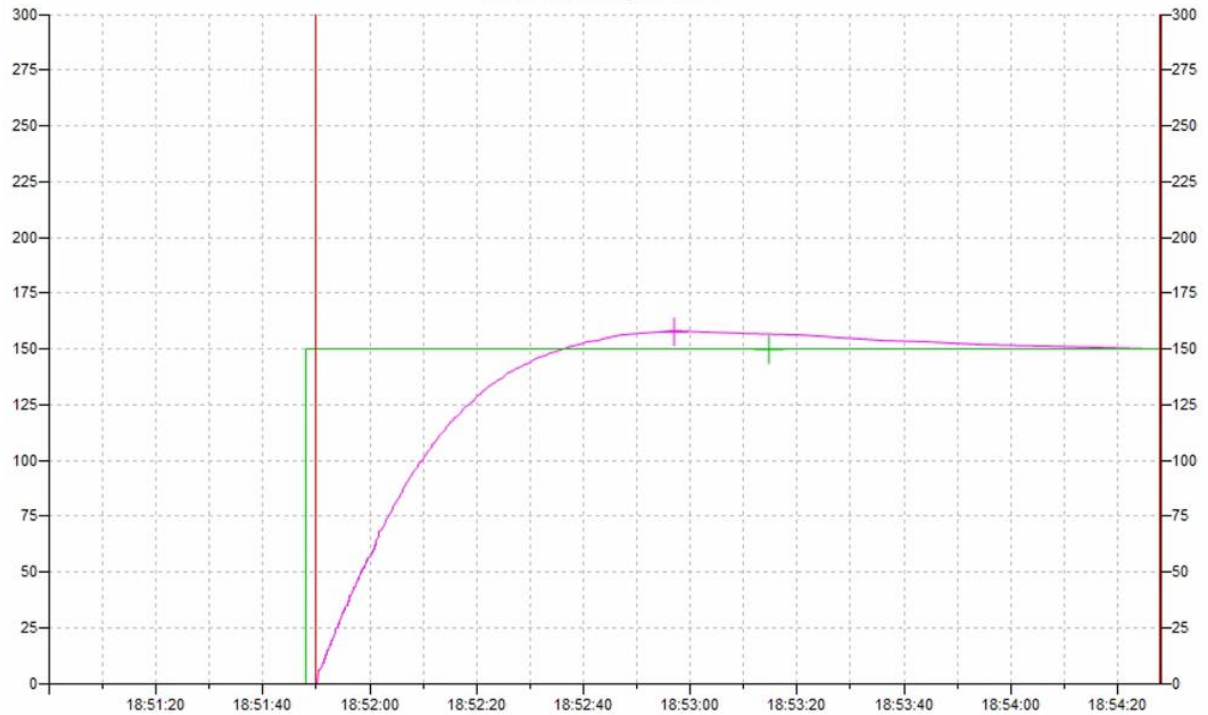
Durante o projeto detalhado foram testados possíveis erros de comunicação e soluções para os mesmos. Grande parte das implementações voltadas para usabilidade, descritas no projeto preliminar, sugeriram do autor se posicionar como usuário, simulando a utilização da aplicação de forma empírica, e verificando formas de resolver ou contornar as situações que poderiam gerar dúvidas ao usuário. Algumas das situações não resolvidas automaticamente, são expostas, de certa forma, e informadas ao usuário como resolvê-las, como nos exemplos mostrados anteriormente nas Figura 29, Figura 30 e na tela "Instruções Processo1" do APÊNDICE C.

Posteriormente seriam feitos testes por usuários das disciplinas envolvendo o Controle de Processos. Ao longo dos testes seriam adequadas as interfaces com usuário até o desenvolvimento de uma versão que atendesse os requisitos com a pelo menos a funcionalidade esperada. Porém, as aulas não foram realizadas presencialmente no semestre constante da realização deste projeto, portanto, inviabilizando estes testes / estudo de caso, ideais para obter resultados concisos.

Os testes básicos de funcionamento foram realizados pelo autor e atingiram a proposta delineada no projeto conceitual, realizando as comunicações corretamente entre os softwares do sistema (Figura 15). Dentro da aplicação, a navegação, conteúdo das telas e implementações lógicas funcionaram como proposto (Figura 13), alcançando a metas esperadas para aplicar, virtualmente, o controle em malha fechada e aberta.

Na Figura 31 é mostrado o resultado de um teste genérico, de controle em malha fechada. Os parâmetros e detalhes do processo, incluindo a tela do Factory IO, são expressos no APÊNDICE D.

**Figura 31 - Resultado do teste de controle PID genérico**  
**Nível do tanque B102**



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

No âmbito do projeto detalhado foram desenvolvidas documentações diversas, tais como este TCC, além de documentações relacionadas, organizadas em pastas, e disponibilizadas em forma de link dentro da própria aplicação na tela "ModoAprendizagem" mostrada no APÊNDICE C. Esta tela é acessada na tela inicial clicando em sistema, à direita da tela.

## 7. CONCLUSÕES / CONSIDERAÇÕES FINAIS

No contexto da Educação Profissional e Tecnológica, pode-se afirmar que este trabalho contribuiu, mesmo que muito especificamente, com a disponibilização de uma ferramenta auxiliar, no ensino de Controle de Processos. Um pequeno passo que pode se expandir, para inspirar outros projetos a contribuir para o desenvolvimento da educação, retribuindo os investimentos realizados pela sociedade.

Inicialmente havia o intuito de aplicar testes relativos à eficiência do software utilizando os critérios pertinentes, relacionados à norma de usabilidade ISO/NBR 9241 - 11. Porém seria necessário um estudo de caso com alunos da disciplina de Controle de Processos, conforme planejado, que ficou inviável em função da realização de ANP, no período em que o projeto foi realizado.

Como citado anteriormente, utilizou-se o número máximo de *tags* disponíveis, por esse motivo o projeto ficou com algumas limitações para implementações de outras funções desejadas. Felizmente a aplicação pode ser reutilizada com a *hardkey*, disponível no IFSC, liberando o uso de mais *tags* para continuidade do projeto caso seja realizada.

Considerando todos os imprevistos, pode-se afirmar, que a aplicação da metodologia de desenvolvimento de produto, ajudou a manter bem organizada cada etapa, inclusive nas tomadas de decisão que alteraram, de certa forma, o escopo do projeto.

### 7.1. Conclusões

O Trabalho de Conclusão de Curso do tema proposto contemplou diversos dos conteúdos do curso de Engenharia Mecatrônica, dentre eles, o controle de processos, programação, informática industrial, metodologia de projetos e redes industriais. Estes conteúdos são importantes para o desenvolvimento da indústria, pois são protagonistas do cotidiano em diversos setores de produção, e apesar do tema estar restrito a aplicação em uma bancada didática, o conteúdo do mesmo é aplicável a diversos setores da indústria, tais como petróleo, alimentícia e até aeroespacial.

O resultado deste projeto gerou um conteúdo que pode ser aplicado como material de apoio extra, caso o aluno disponibilize de recursos computacionais

necessários, para realizar os experimentos aqui demonstrados, podendo ser aplicado como ANP.

As Tabelas, Tabela 5 e Tabela 6, apresentam os resultados alcançados neste TCC.

**Tabela 5 - Resultados alcançados dos objetivos originais**

Objetivo específico	Conquistado
a) Estudar o sistema atual (Bancada física)	Totalmente Realizado
b) Fazer testes com os componentes (Bancada física)	Não realizado
c) Aplicar o controle PID do CLP	Não realizado
d) Adequar a programação do CLP	Não realizado
e) Desenvolver a aplicação SCADA (Bancada física)	Realizado Parcialmente (Adaptável ao projeto para a bancada)
f) Executar os testes	Realizado Parcialmente (A substituição das associações e scripts por elementos da bancada física teria os mesmos resultados )
g) Desenvolver a documentação	Realizado Parcialmente (Grande parte do conteúdo desenvolvido neste trabalho é aplicável para o desenvolvimento do projeto original)

Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

**Tabela 6 - Resultados alcançados dos objetivos adaptados**

Adaptação	Conquistado
a) Estudar o sistema virtual	Totalmente Realizado
b) Fazer testes com os componentes virtuais	Totalmente Realizado
c) Aplicar o controle PID	Totalmente Realizado
d) Realizar a programação do CLP virtual	Totalmente Realizado
e) Desenvolver a aplicação SCADA	Totalmente Realizado
f) Executar os testes	Totalmente Realizado
g) Desenvolver a documentação	Totalmente Realizado

Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Conclui-se com base no conteúdo descrito neste documento, que este projeto mesmo sendo uma adaptação do original pode ser muito útil para o ensino das disciplinas de Controle de Processos.

## 7.2. Recomendação para trabalhos futuros

É altamente recomendado a realização do trabalho nos moldes originais, controlando e supervisionando as bancadas físicas, onde pode ser utilizadas as

informações deste trabalho, documentações reunidas e obviamente a aplicação SCADA apresentada neste TCC

Além disto poderia ser explorado o desenvolvimento de ferramentas adicionais para auxiliar no ensino de controle de processos (métodos de identificação), ou mesmo de outras disciplinas como redes industriais e informática industrial.

Assim como o bloco PID foi adicionado pela biblioteca Util, poderiam ser exploradas possibilidade de outros modelos matemáticos de PID ou até mesmo inteligência artificial com o uso de redes neurais.

Por fim a integração com outros softwares dedicados a cálculos computacionais como por exemplo Matlab/Simulink e Labview, utilizando a interface do SCADA e a comunicação OPC.



## REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR 8190**: simbologia de instrumentação : simbologia. Rio de Janeiro, 1983. 58 p. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=80826>. Acesso em: 12 abr. 2021.

BRASIL. LDB – Lei de Diretrizes e Bases da Educacional. Lei 9394/96

ELIPSE SOFTWARE. **Soluções em softwares para automação industrial**. *In*: Site Oficial. Disponível em: <https://www.elipse.com.br/>. Acesso em: 29 nov. 2019.

ELIPSE SOFTWARE (Rio Grande do Sul). **Elipse Knowledgebase**. 2021. Disponível em: <https://kb.elipse.com.br/>. Acesso em: 05 mar. 2021.

ELIPSE SOFTWARE LTDA. (Rio Grande do Sul). **Tutorial do E3 para Desenvolvedores**. Porto Alegre: Manual do Curso, 2012. 212 p. (Versão 4.0).

ISA. **ISA112**: SCADA systems. 2020. Disponível em: [www.isa.org/isa112](http://www.isa.org/isa112). Acesso em: 05 mar. 2021.

FESTO. **MPS® PA Compact Workstation**. Produção: Jürgen Helmich, ADIRO. Esslingen, Germany: Festo Didactic, 2008. 1 CD-ROM.

OPC FOUNDATION. **What is OPC?** 2021. Disponível em: <https://opcfoundation.org/about/what-is-opc/>. Acesso em: 05 mar. 2021.

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO. **NOTA TÉCNICA 01**: Orientações para as atividades de pesquisa durante a pandemia. Florianópolis: IFSC, 2020. 3 p. Disponível em: [https://linkdigital.ifsc.edu.br/files/NOTA-TECNICA\\_PROPPI-1.pdf](https://linkdigital.ifsc.edu.br/files/NOTA-TECNICA_PROPPI-1.pdf). Acesso em: 05 mar. 2021.

REAL GAMES. **Factory I/O**: documentation. Documentation. 2021. Disponível em: <https://docs.factoryio.com/>. Acesso em: 05 mar. 2021.

SIEMENS. **SIMATIC S7-1200**: Pode ser adaptado de forma flexível às suas necessidades. [S. l.], 29 nov. 2019. Disponível em:

<https://new.siemens.com/br/pt/produtos/automacao/sistemas-automacao/industrial/plc/s7-1200.html>. Acesso em: 29 nov. 2019.

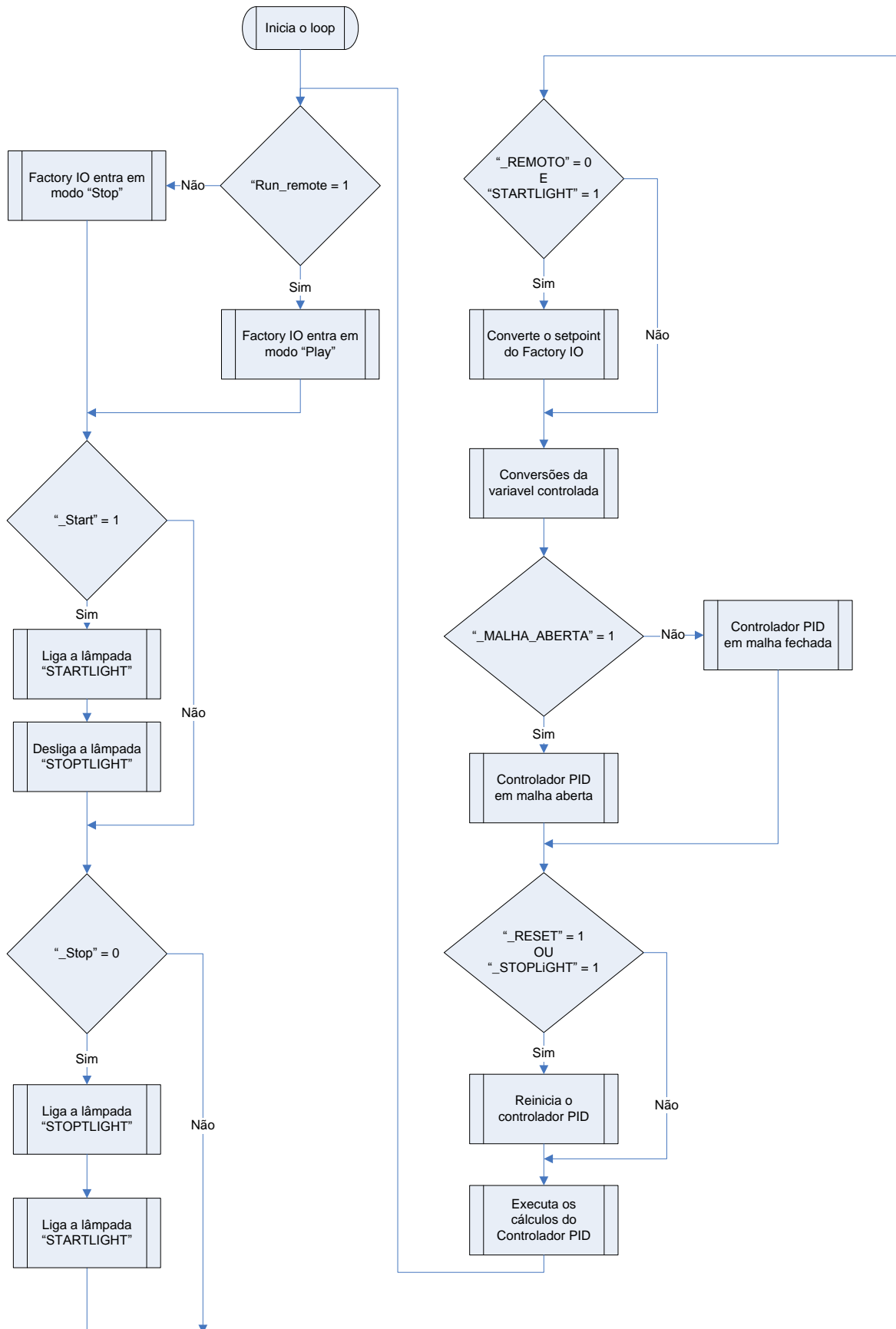
UFSC. NEDIP. Modelo PRODIP. *In*: **Modelo PRODIP**. Disponível em:

<http://emc5302.ogliari.prof.ufsc.br/artigo/modelo-prodip>. Acesso em: 29 nov. 2019.

## ANEXO A - CONFIGURAÇÃO DOS COMPONENTES

Component	Level controlled system	Flow controlled system with pump P101 for manip. value	Flow controlled system with valve V106 for manip. value	Pressure control. system with pump P101 for manip. value	Pressure control. system with valve V106 for manip. value	Temperature controlled system
Measuring point Sensor	LIC102 B101	FIC101 B102		PIC103 B103		TIC104 B104
Pump P101	controlling element	controlling element	digital On	controlling Element	digital On	On
Prop. valve V106	Off	Off	controlling element	Off	controlling element	Off
Heating element E104	Off	Off	Off	Off	Off	switched controll. element
Hand valve V101	open	closed	closed	closed	closed	closed
Ball valve V102	open/closed	closed	closed	closed	closed	closed
Hand valve V103	closed	closed	closed	open	closed	open
Hand valve V104	closed	open	closed	closed	closed	closed
Drainage valve V105	closed	closed	closed	closed	closed	closed
Hand valve V107	closed	closed	closed	closed	closed	closed
Hand valve V108	closed	closed	closed	open	open	closed
Hand valve V109	closed	closed	open	open/closed	open/closed	open
Hand valve V110	closed	closed	closed	closed	closed	closed
Hand valve V112	open/closed	closed	closed	closed	closed	closed

## APÊNDICE A - FLUXOGRAMA DO PROGRAMA DO CLP



## APÊNDICE B - PROGRAMAÇÃO DO CLP

Declaração de variáveis:

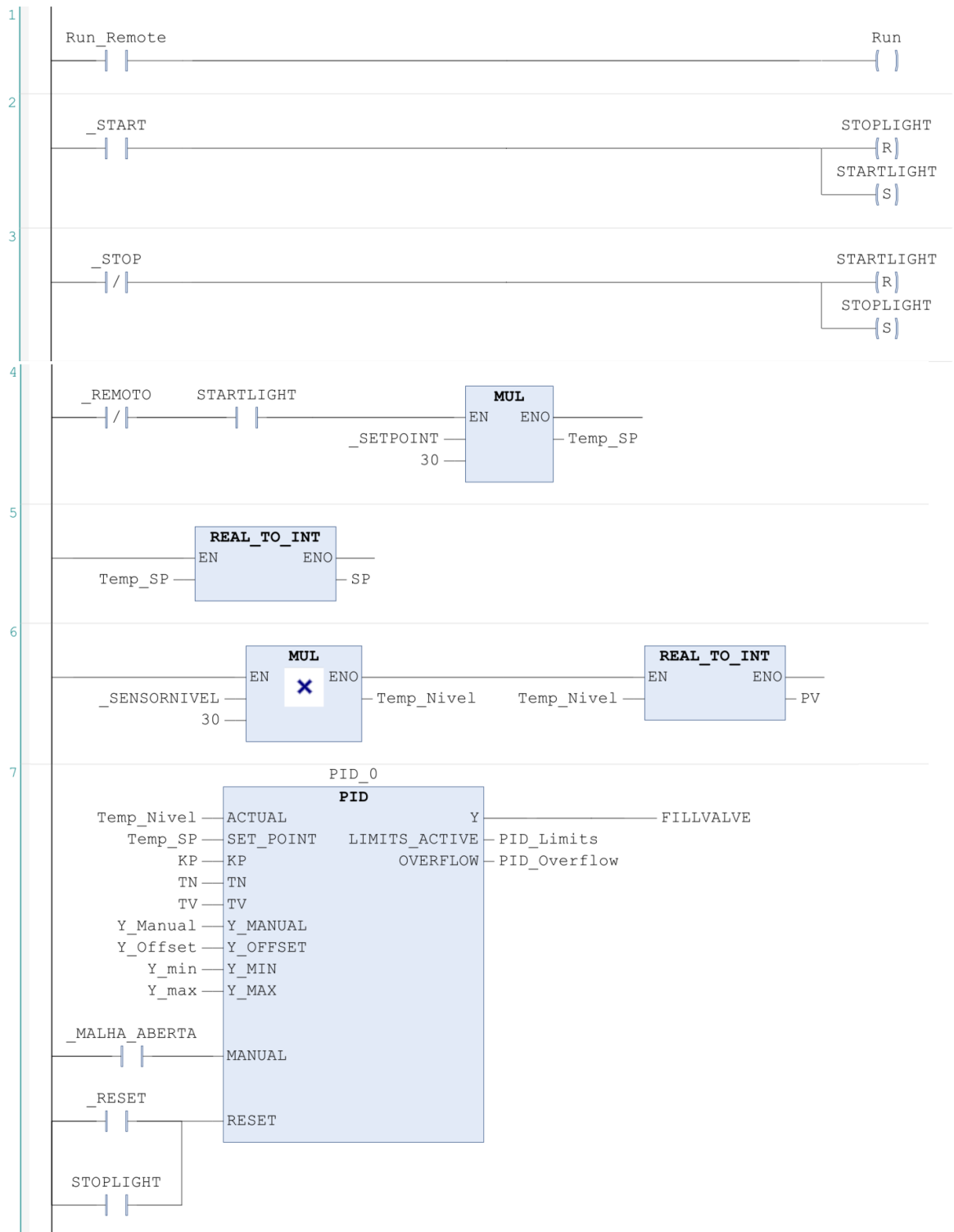
```

1  PROGRAM PLC_PRG
2  VAR
3      //entradas - Factory IO
4      _SENSORNIVEL : REAL ; //Sinal do sensor capacitivo para medição do nível
5      _SENSORVAZAO : REAL ; //Sinal do sensor de medição da vazão
6      _RESET : BOOL ; //Boteira de reset
7      _SETPOINT : REAL ; //Sinal do potenciometro relacionado ao SP
8      _START : BOOL ; //Boteira de Start
9      _STOP : BOOL ; //Boteira de Stop
10
11     //SAIDAS - Factory IO
12     DISCH : REAL ; //Valvula de descarga(Factory IO), Valv. proporcional(MPS-PA)
13     FILLVALVE : REAL ; //Valvula de entrada(Factory IO), Motobomba(MPS-PA)
14     PV : INT ; // Valor de PV no display
15     SP : INT ; // Valor de SP no display
16     STARTLIGHT : BOOL ; //Sinal iluminado da boteira dfe start
17     STOPLIGHT : BOOL ; //Sinal iluminado da boteira dfe start
18
19     //Controle e Elipse E3
20     PID_0 : PID ; //Definição do bloco de PID
21     Temp_SP : REAL ; //Variavel temporaria de SP
22     Temp_Nivel : REAL ; //Variavel temporaria de PV
23     Run : BOOL ; //Play do factory IO pelo supervisorio
24     Run_Remote : BOOL ; //Play do factory IO pelo supervisorio
25     KP : REAL ; //Proporcional do PID
26     TN : REAL ; //Integral do PID
27     TV : REAL ; //Derivativo do PID
28     Y_Manual : REAL ; //Variaveis para funcionamento do bloco PID
29     Y_Offset : REAL ; //Variaveis para funcionamento do bloco PID
30     Y_min : REAL ; //Variaveis para funcionamento do bloco PID
31     Y_max : REAL ; //Variaveis para funcionamento do bloco PID
32     MANUAL_PID : BOOL ; //Variaveis para funcionamento do bloco PID
33     PID_Overflow : BOOL ; //Variaveis para funcionamento do bloco PID
34     PID_Limits : BOOL ; //Variaveis para funcionamento do bloco PID
35     _REMOTO : BOOL ; //Bloqueio da conversão do set point Factory IO
36     _MALHA_ABERTA : BOOL ; //Bloqueio da conversão do sensor Factory IO
37
38 END_VAR
39

```

---

Diagramação Ladder:

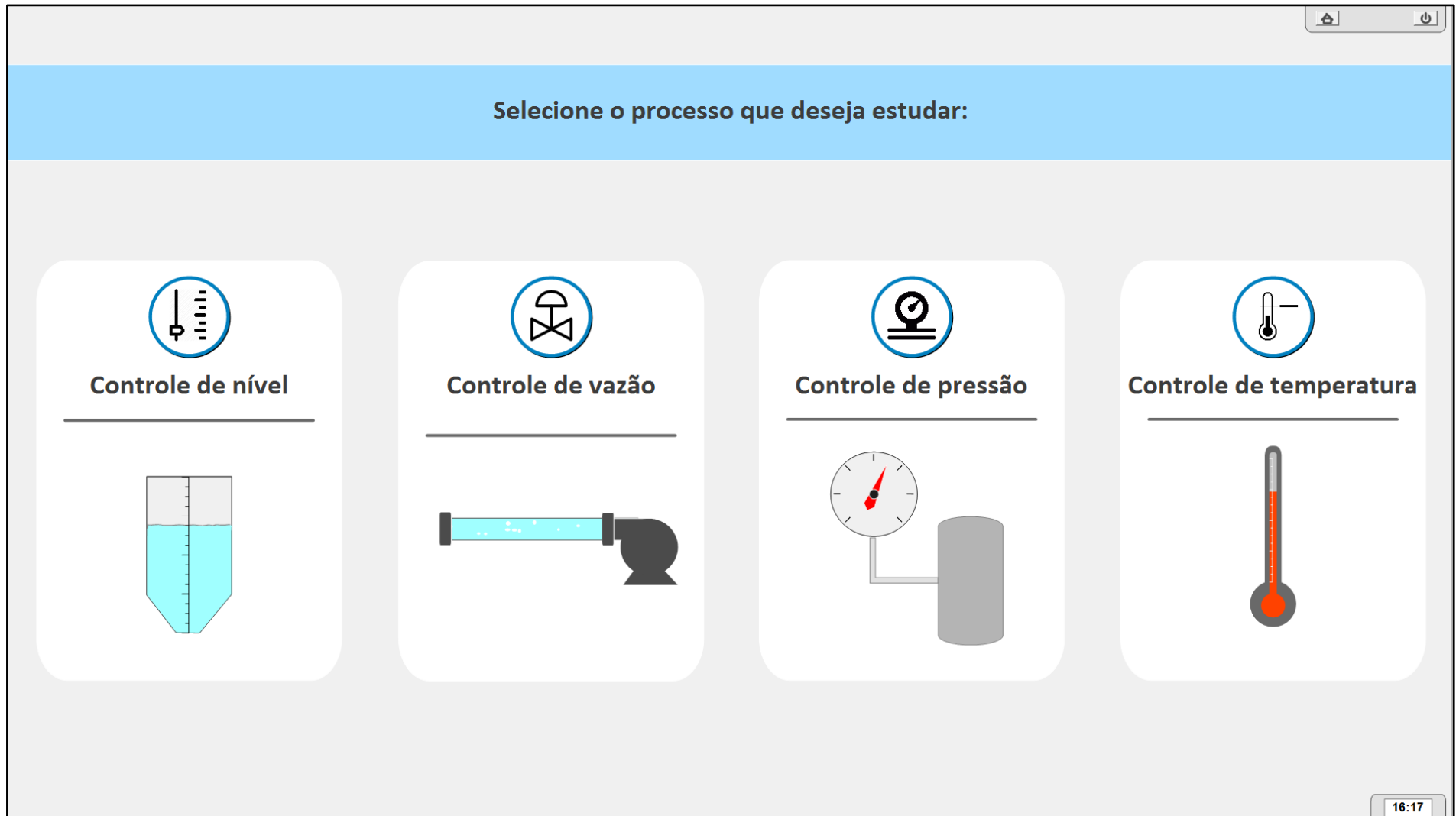


## APÊNDICE C - TELAS

"Tela inicial":








"Tela de controle":




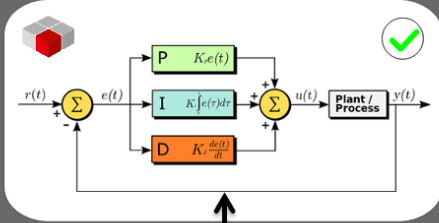



## Tela\_TestesCodesys:


**TELA DE TESTES - Serviços e Comunicação OPC**

Componente	Atalho	Status de comunicação	Instruções
Bancada	—		
CLP	—		
Codesys Systray		<span style="color: red;">●</span> Serviço	 Start PLC
Codesys Xsoft		<span style="color: green;">●</span> Gateway <span style="color: red;">●</span> Software	
Factory IO		<span style="color: red;">●</span> Software	Scenes > My scenes > Level control










**Instruções de uso (Modo simulação):**

#Verificar o status do Control Win SysTray;  
 #Verificar o status do Codesys (Gateway ou software);  
 #Verificar o status do Factori IO.

Se a comunicação não funcionar, nas demais telas, é necessário

- Fechar esta aplicação;
- Parar o domínio(1);
- Iniciar o domínio novamente(2).



## Tela "ModoAprendizagem":

**Componentes**

- Sensor Ultrasonico
- Tanque
- Válvula de esfera 2/2 vias
- Válvula Proporcional
- Sensor de Vazão
- Bomba
- Easyport
- I/O board
- Sensor de Pressão
- Aquecedor
- Sensor de Temperatura
- Trolley
- Perfil de alumínio

**Manuais**

- MPS-PA Festo
- Datasheets
- Factory IO

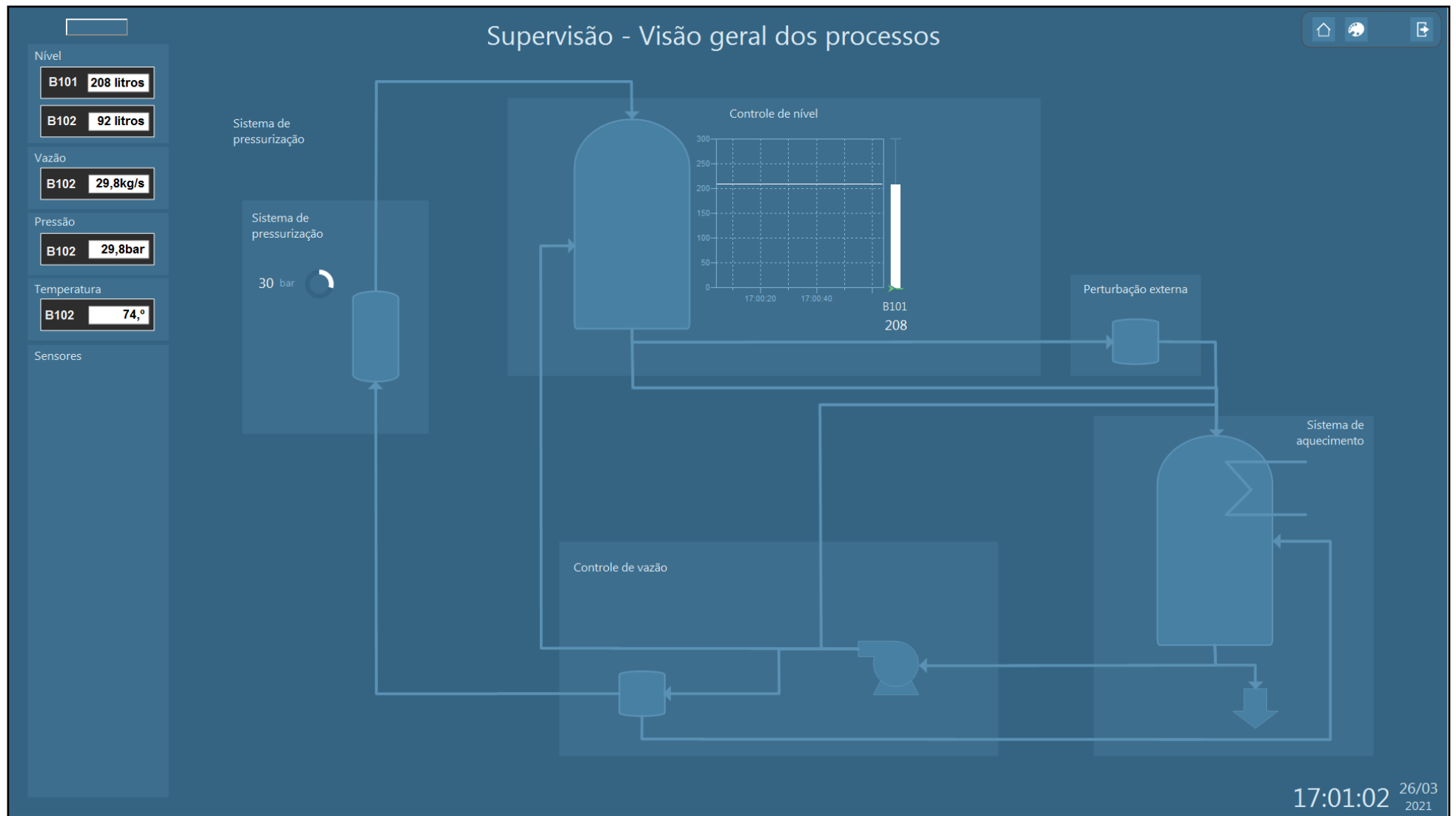
**Documentação**

- Programação

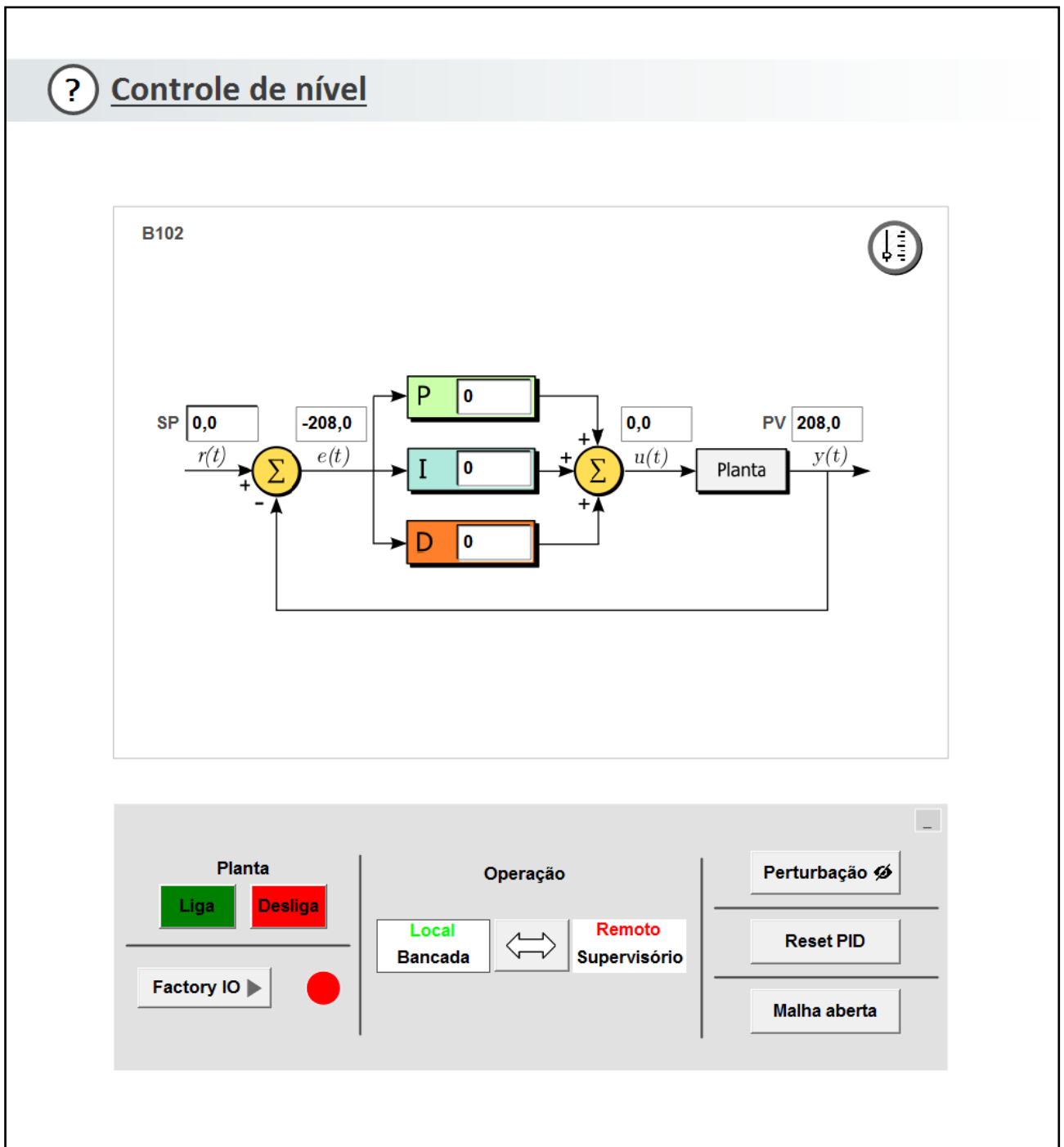
Bem vindo ao modo aprendizagem!

A imagem a esquerda mostra os componentes da bancada. Para mais detalhes você pode consultar os manuais a direita

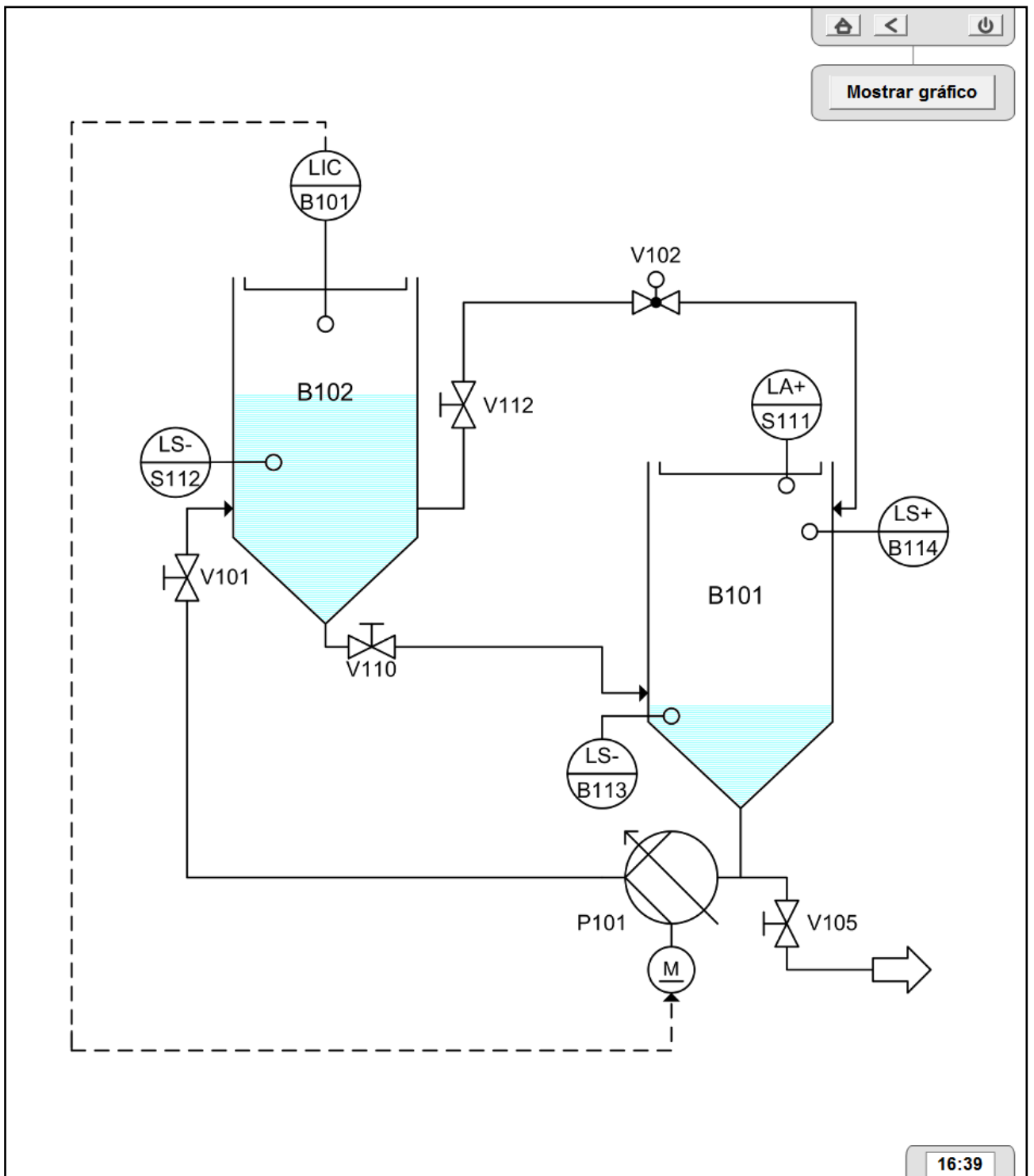
"Tela\_Supervisório":



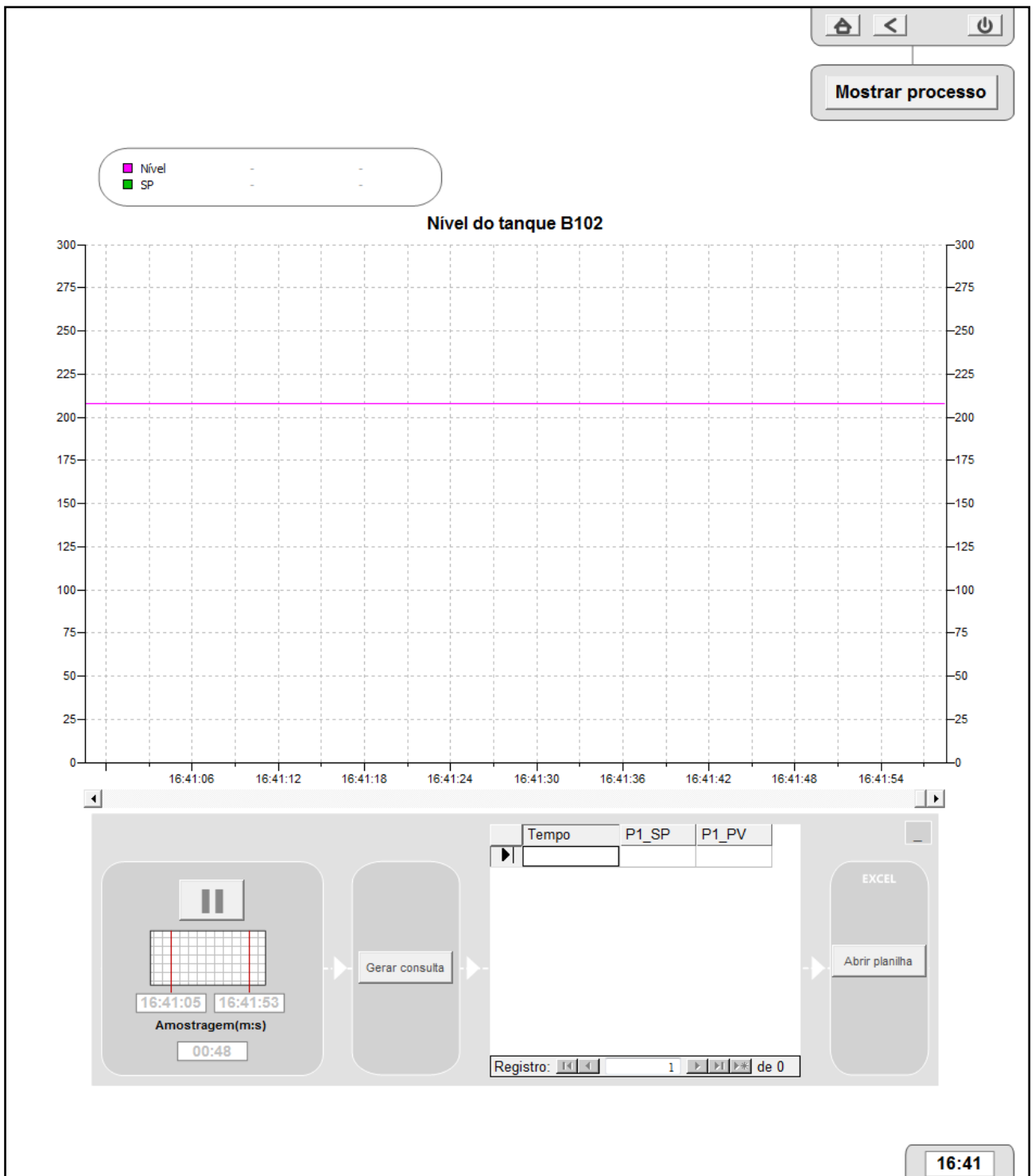
Tela "Processo 1":



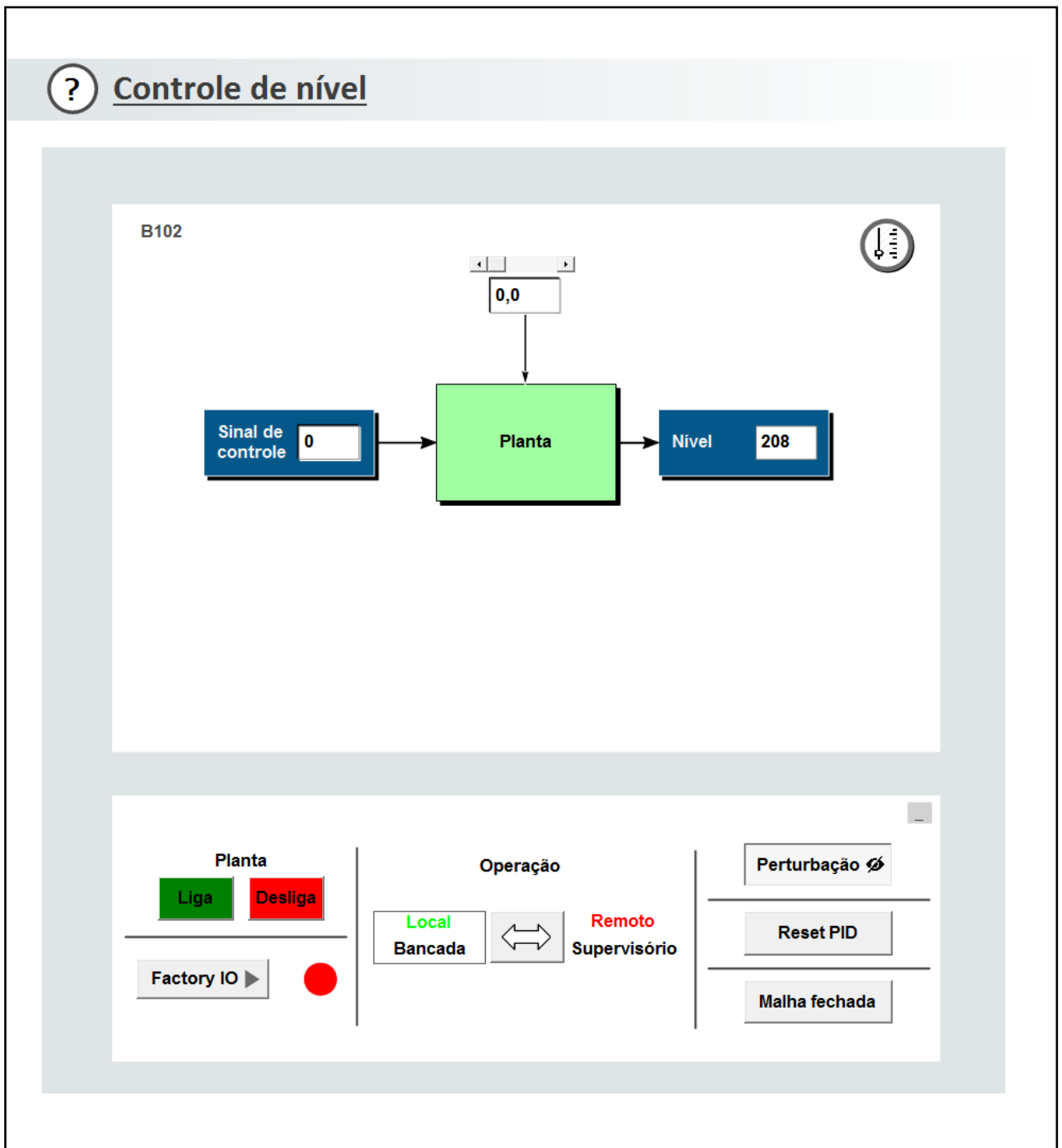
Tela "Processo 1 - Instr":



Tela "Processo 1 - Graf":



Tela "Processo 1 - Malha aberta":



Tela "Instruções Processo1":

X

**Para iniciar a bancada:**

1. Certifique-se de que a comunicação está configurada corretamente
2. Você pode utilizar o botão **Factory IO** para ligar/desligar o sistema
3. Para iniciar a bancada virtual o botão **Liga** deve ser pressionado

O objetivo deste processo é utilizar as variáveis de controle para controlar o nível no tanque B102.

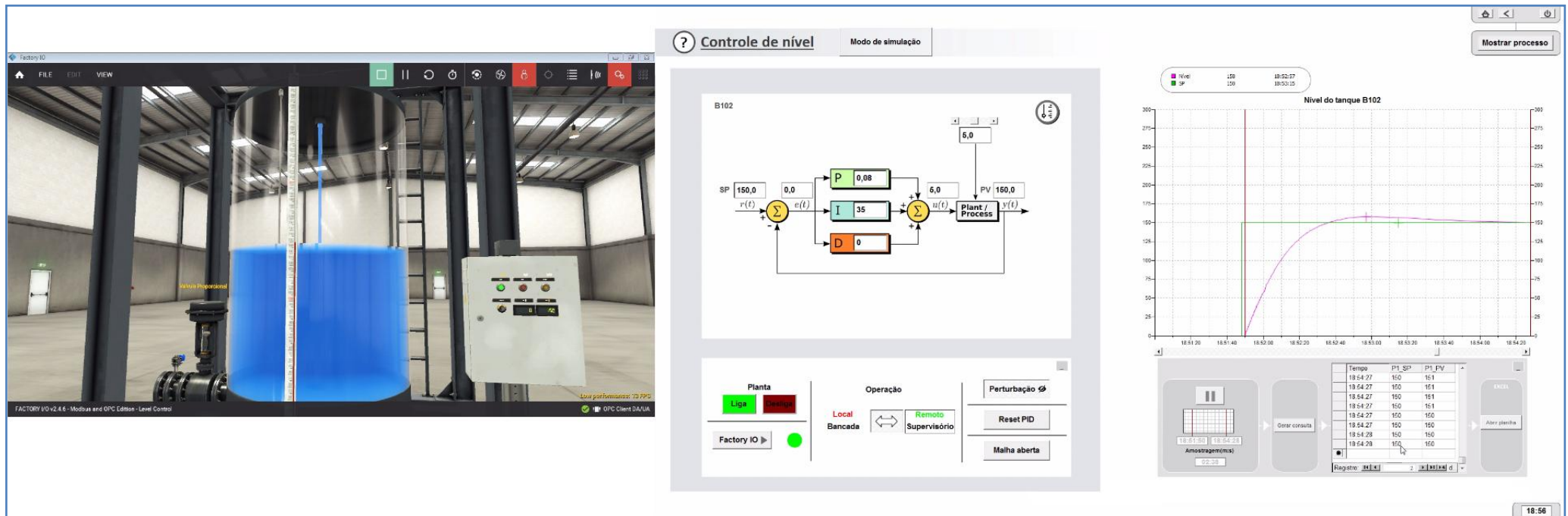
Para isso voce deve seguir os passos seguintes:

1. Inserir os parâmetros PID previamente calculados
2. Inserir o SP(Setpoint)

O diagrama ilustra um sistema de controle em malha fechada. O setpoint (SP) é definido como 2. Este valor é comparado com o sinal de realimentação em um somador ( $\Sigma$ ) para gerar o erro  $e(t)$ . O erro  $e(t)$  é então processado por um controlador PID (bloco 1) que contém os modos Proporcional (P), Integral (I) e Derivativo (D). O sinal de saída do controlador é somado em um segundo somador ( $\Sigma$ ) para gerar o sinal de controle  $u(t)$ , que é enviado para a planta. A saída da planta  $y(t)$  é realimentada para o primeiro somador.



APÊNDICE D - Resultado de um teste genérico com a visualização simultânea dos softwares (a) Factory IO (b) Aplicação no elipse E3



(a)

(b)