

Samara Lima Cardoso

Relatório de Estágio Supervisionado

Campina Grande, Brasil

Agosto de 2024

Samara Lima Cardoso

Relatório de Estágio Supervisionado

Relatório de Estágio Supervisionado submetido à Coordenação de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande, Campus Campina Grande, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Graduado em Engenharia Elétrica.

Universidade Federal de Campina Grande - UFCG
Centro de Engenharia Elétrica e Informática - CEEI
Departamento de Engenharia Elétrica - DEE

Orientador: Eisenhower de Moura Fernandes, D.Sc.

Campina Grande, Brasil

Agosto de 2024

Samara Lima Cardoso

Relatório de Estágio Supervisionado

Relatório de Estágio Supervisionado submetido à Coordenação de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande, Campus Campina Grande, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Graduado em Engenharia Elétrica.

Trabalho aprovado em: / /

Eisenhauer de Moura Fernandes, D.Sc.
Orientador

George Acioli Júnior, D.Sc.
Convidado

Campina Grande, Brasil
Agosto de 2024

À minha família.

Agradecimentos

Primeiramente, gostaria de expressar minha profunda gratidão aos meus pais, Marcos e Maria Cláudia, e à minha avó, Maria Izabel, pelo apoio incondicional, pelos sacrifícios, pelo suporte constante e por sempre acreditarem em mim. Agradeço também aos meus irmãos, Sabrina e Marcus Alexandre, por estarem ao meu lado e me encorajarem nos momentos difíceis.

Um agradecimento especial à Leticia Paz, pelo amor, paciência e encorajamento ao longo desta jornada. Sou grata por ter você ao meu lado e por tornar esta etapa da vida muito mais leve e superável.

Gostaria de expressar minha gratidão à minha dupla de universidade, Julia Ramalho, por toda a parceria e apoio durante a graduação. Desde o segundo período, sua colaboração nos trabalhos e seu suporte foram fundamentais para enfrentar os desafios que o curso e a vida apresentaram. Não consigo imaginar como teria sido sem a sua companhia.

Aos meus amigos e colegas da graduação, agradeço profundamente pelo apoio nos grupos de estudos, pelos trabalhos em grupo, pela ajuda nas disciplinas e pela companhia constante. Agradeço por cada momento de colaboração.

Agradeço aos colegas do LIEC pela colaboração e amizade, que tornaram este período de pesquisa mais produtivo e agradável. Em especial, gostaria de expressar minha gratidão ao mestrando Victor pelos pelo compartilhamento de seus conhecimentos comigo.

Ao meu orientador, Eisenhower Fernandes, agradeço pela orientação e sabedoria, que foram importantes para a realização deste trabalho. Agradeço também ao professor Péricles Barros, pelos os ensinamentos, atenção e apoio me dado durante minha trajetória no LIEC.

"There are a lot of little reasons why the big things in our lives happen."

Ted Mosby

Resumo

O estágio supervisionado realizado no Laboratório de Instrumentação Eletrônica e Controle (LIEC) teve uma duração de 184 horas, ocorrendo entre junho e julho de 2024. Parte obrigatória do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande, o estágio teve como objetivo desenvolver guias para auxiliar os alunos do laboratório no uso da planta de nível. A estagiária Samara Lima Cardoso, sob a orientação do professor Eisenhower de Moura Fernandes e a supervisão do professor Péricles Rezende Barros, integrou a equipe do Laboratório de Automação Industrial. Suas atividades incluíram o estudo do ambiente de programação do Controlador Lógico Programável (CLP), o teste dos programas do CLP na planta de nível e a elaboração de materiais didáticos para a programação e operação da planta de nível.

Palavras-chaves: Materiais Didáticos; Controlador Lógico Programável (CLP); Planta de Nível.

Abstract

The supervised internship carried out at the Laboratory of Electronic Instrumentation and Control (LIEC) lasted for 184 hours, taking place between June and July 2024. A mandatory part of the Electrical Engineering course at the Federal University of Campina Grande, the internship aimed to develop guides to assist students in the laboratory with the use of the level plant. The intern, Samara Lima Cardoso, under the guidance of Professor Eisenhower de Moura Fernandes and the supervision of Professor Péricles Rezende Barros, joined the Industrial Automation Laboratory team. Her activities included studying the programming environment of the Programmable Logic Controller (PLC), testing PLC programs on the level plant, and developing educational materials for programming and operating the level plant.

Key-words: Educational Materials; Programmable Logic Controller (PLC); Level Plant.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Foto da fachada do edifício do LIEC.	2
Figura 2 – Planta didática com tanques de nível.	4
Figura 3 – Modelo de tanque presente na planta.	6
Figura 4 – Válvulas manuais usadas na planta.	7
Figura 5 – Válvulas elétricas usadas na planta.	7
Figura 6 – Motor hidráulico utilizado na planta.	8
Figura 7 – Inversores utilizados na planta.	8
Figura 8 – Sensores de pressão diferenciais utilizados na planta.	9
Figura 9 – Coluna utilizada para realizar as medições pelo sensor.	9
Figura 10 – CLP ControlLogix 5561 da Allen-Bradley.	10
Figura 11 – Painel da planta.	11
Figura 12 – Esquema de conexão dos componentes.	12
Figura 13 – Localização da conexão pneumática no tanque 1.	14

Lista de abreviaturas e siglas

CLP	Controlador Lógico Programável
DEE	Departamento de Engenharia Elétrica
IHM	Interface Humano-Máquina
LIEC	Laboratório de Instrumentação Eletrônica e Controle
OPC	<i>Open Platform Communications</i>
UFCG	Universidade Federal de Campina Grande

Lista de símbolos

m Metros

V Volt

A *Ampere*

Sumário

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Objetivos	1
2	LOCAL DO ESTÁGIO	2
3	PLANTA DE NÍVEL DIDÁTICA	4
3.1	Descrição da Planta	4
3.2	Detalhamento dos Componentes	5
3.2.1	Tanques	5
3.2.2	Válvulas	5
3.2.3	Bombas Hidráulicas	6
3.2.4	Inversores de Frequência	8
3.2.5	Sensor de Pressão Diferencial	9
3.2.6	Controlador Lógico Programável - CLP	10
3.2.7	Painel da Planta	10
3.3	Conexão dos Componentes	11
4	ATIVIDADES REALIZADAS	13
4.1	Atividades de Estudo	13
4.2	Atividades de Desenvolvimento	13
4.2.1	Manutenção da planta	13
4.3	Execução dos Experimentos	14
4.4	Confecção dos Guias	14
5	CONCLUSÃO	15
	REFERÊNCIAS	16
	APÊNDICE A – Materiais Didáticos Confeccionados	17

1 Introdução

Este documento descreve as atividades realizadas pela discente Samara Lima Cardoso durante o Estágio Supervisionado de 184 horas. O estágio ocorreu no Laboratório de Instrumentação Eletrônica e Controle (LIEC) entre 19 de junho de 2024 e 31 de julho de 2024, sob a orientação do professor Eisenhower de Moura Fernandes e supervisão do professor Péricles Rezende Barros.

O Estágio Supervisionado tem como objetivo atender à disciplina de Estágio Curricular, parte integrante do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Esta disciplina é fundamental para a formação profissional, proporcionando ao aluno a oportunidade de aplicar na prática os conhecimentos adquiridos ao longo do curso. Durante o estágio, as principais atividades da estagiária envolveram o estudo do ambiente de programação do CLP em um sistema de controle de nível, o teste de códigos, e a elaboração de materiais didáticos.

1.1 Objetivos

O objetivo definido para o Estágio Supervisionado, realizado no Laboratório de Instrumentação Eletrônica e Controle (LIEC), foi a elaboração de materiais didáticos para a planta de nível. Para isso, os seguintes objetivos específicos foram estabelecidos:

- Estudar o ambiente de programação do Controlador Lógico Programável (CLP) da Rockwell;
- Estudar os conceitos construtivos da planta de nível;
- Testar os códigos e colocar a planta em funcionamento;
- Elaborar materiais didáticos de programação e operação da planta de nível.

2 Local do Estágio

O Laboratório de Instrumentação Eletrônica e Controle (LIEC) faz parte do Departamento de Engenharia Elétrica (DEE) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), campus Campina Grande. O corpo técnico do LIEC é composto por professores doutores, alunos de pós-graduação e graduação, responsáveis pelo desenvolvimento de atividades de pesquisa e desenvolvimento nas áreas de instrumentação eletrônica, controle e automação.

Na Figura 1, é apresentada a fachada do prédio onde está localizado o LIEC. O prédio possui uma área aproximada de 900 m² e abriga oito laboratórios, duas salas de apoio técnico, uma sala de reuniões e salas para alunos e professores.

Figura 1 – Foto da fachada do edifício do LIEC.



Fonte: LIEC (2022).

Os principais laboratórios disponíveis são:

- o Laboratório de Aplicações Wireless, que desenvolve soluções baseadas em dispositivos móveis para ambientes industriais;
- o Laboratório de Automação Industrial, que realiza trabalhos com sintonia de controladores PID industriais (mono e multivariável), automação industrial, instrumentação industrial, IHM industrial e avaliação de confiabilidade em malhas de controle;
- o Laboratório de Controle e Otimização, que se dedica a projetos de sintonia de controladores PID, modelagem e simulação de processos e sistemas supervisórios;
- o Laboratório de Instrumentação Eletrônica, focado em projetos de sintonia de PID;
- o Laboratório de Redes Industriais, que estuda técnicas e tecnologias para comunicação entre dispositivos industriais;

- o Laboratório de RFID, que desenvolve aplicações baseadas em tecnologia RFID para ambientes industriais;
- e o Laboratório de UltraSom, voltado ao desenvolvimento de sensores e técnicas de medição de incrustação.

3 Planta de Nível Didática

3.1 Descrição da Planta

A planta de nível possui 4 tanques idênticos, que são numerados, sendo o da extrema esquerda o tanque número 1 e o da extrema direita o tanque número 4. Eles são conectados entre si e com o reservatório, identificado como o número 5, por meio de válvulas manuais. As válvulas manuais, da cor laranja, estão localizadas a meia altura entre o primeiro par e o segundo par de tanques, na base de cada tanque, e também na parte inferior de cada tanque. Na Figura 2 é apresentada a planta didática com os tanques de nível.

Figura 2 – Planta didática com tanques de nível.



Fonte: JUNIOR (2022).

Para abastecer os tanques a partir do reservatório, são usadas duas bombas hidráulicas, cada uma acionada por um inversor de frequência. Os tanques podem ser abas-

tecidos utilizando qualquer uma das bombas, sendo a escolha determinada pela abertura das válvulas manuais, amarelas, controladas pelo usuário. O reservatório, as bombas e os tanques estão conectados por tubos azuis que se ligam ao topo dos tanques. Esses tubos azuis estão destacados com a numeração 1 e 2, de acordo com a bomba que os abastece.

A planta possui 6 sensores diferenciais de pressão, sendo 4 para os tanques, onde cada tanque possui um sensor, e 2 conectados entre cada um dos motores e a tubulação azul. Com o propósito de garantir a segurança do sistema, cada um dos tanques e o reservatório possuem uma boia de segurança, que desliga o sistema caso algum tanque atinja seu nível máximo.

O sistema ainda possui duas válvulas elétricas, que estão conectadas entre os tanques e o reservatório, e são utilizadas para o esvaziamento dos tanques no sistema de controle.

Como todos os tanques estão interligados, conectados a duas bombas e com a presença das válvulas manuais nas tubulações, é possível a execução de diferentes experimentos por meio das diversas configurações possíveis. Os componentes da planta são controlados por um CLP da Allen-Bradley, que é programado no ambiente RSLogix5000, desenvolvido pela Rockwell. A planta também possui uma IHM, entretanto, por falta de atualização de licença, ela não está sendo utilizada.

3.2 Detalhamento dos Componentes

Nesta seção são apresentados, de maneira individualizada, cada um dos componentes presentes na planta.

3.2.1 Tanques

O sistema possui 4 tanques cilíndricos e idênticos, com 1,1 m de altura e 0,69 m de diâmetro interno, como apresentado na Figura 3. Eles possuem uma capacidade de aproximadamente 38 litros de água.

3.2.2 Válvulas

Há dois tipos de válvulas presentes no sistema para controlar o escoamento em três diferentes tipos de tubulações. As válvulas manuais têm a função de ajustar e limitar a máxima passagem de fluido nas seguintes tubulações:

- Azul: Nessa tubulação, é realizada a passagem de água, pelo motor, do reservatório para os tanques. As válvulas para esse controle estão destacadas em amarelo na Figura 4;

Figura 3 – Modelo de tanque presente na planta.



Fonte: JUNIOR (2022)

- Marrom: Nessa tubulação, é realizada a passagem de água entre os tanques e para o reservatório. As válvulas para esse controle estão destacadas em laranja na Figura 4.

Já as válvulas elétricas, apresentadas na Figura 5, são do modelo NVF24-MFT-E-50 V-10126, fabricadas pela BELIMO. A tensão de alimentação dessas válvulas é de 110V-220V, e elas operam em uma faixa de temperatura de -10°C a 50°C , com uma expectativa de vida de 50.000 ciclos, onde cada ciclo equivale a 12 segundos. As válvulas elétricas são acionadas pelo CLP para controlar o nível dos tanques, permitindo o escoamento da água para o reservatório.

3.2.3 Bombas Hidráulicas

As bombas hidráulicas, apresentadas na Figura 6, são do modelo HYDROBLOC P500T, produzidas pela KSB Bombas Hidráulicas S/A. Este modelo é trifásico, possui potência nominal de 0,5 HP e elevação máxima de 35 metros.

As bombas KSB HYDROBLOC da linha P são compactas, pesando 5,5 kg. Elas podem bombear uma vazão de até 45 l/min em elevações de até 70 m, e são capazes de

Figura 4 – Válvulas manuais usadas na planta.



Fonte: Adaptado de JUNIOR (2022).

Figura 5 – Válvulas elétricas usadas na planta.



Fonte: JUNIOR (2022).

trabalhar com líquidos a temperaturas de até 80°C. A tensão de operação é de 220–380V.

Essas bombas são projetadas tanto para uso doméstico quanto industrial, onde são necessárias pressões e vazões obtidas a custos reduzidos. São recomendadas para bombear água limpa, realizar bombeamento para reservatórios, aumento de pressão na rede, entre outras aplicações.

Figura 6 – Motor hidráulico utilizado na planta.



Fonte: JUNIOR (2022).

3.2.4 Inversores de Frequência

Os inversores de frequência usados para controlar a velocidade da bomba hidráulica são do modelo SFW08. Eles possuem dois tipos de controle: controle vetorial (VVC, do inglês *Voltage Vector Control*) ou escalar (V/F). Além disso, possuem uma interface de operação onde é exibida a frequência em Hertz, e são disponibilizados botões para o operador interagir com o componente. Os inversores de frequência são apresentados na Figura 7.

Figura 7 – Inversores utilizados na planta.



Fonte: JUNIOR (2022).

3.2.5 Sensor de Pressão Diferencial

Os sensores de nível e vazão utilizados na planta são do modelo LD301 da Smar. Eles pesam 3,5 kg, operam em uma temperatura máxima de 85°C e possuem uma exatidão de 0,075%. Eles utilizam células capacitivas como elementos sensores de pressão. Os sensores são apresentados na Figura 8.

Figura 8 – Sensores de pressão diferenciais utilizados na planta.



Esses sensores são usados para determinar o nível do tanque com base na diferença de pressão em uma coluna, conforme ilustrado na Figura 9. Para seu correto funcionamento, é necessário realizar calibrações, definindo o zero e o máximo da coluna. É importante ressaltar que cada tanque possui sua própria coluna.

Figura 9 – Coluna utilizada para realizar as medições pelo sensor.



Fonte: Adptado de JUNIOR (2022).

3.2.6 Controlador Lógico Programável - CLP

O controlador da planta é o CLP ControlLogix 5561 da Allen-Bradley, , apresentado na Figura 10, com o número de catálogo 1756-L61. Este controlador é equipado com cartões de entrada e saída analógicos, entrada e saída digitais, e um cartão de Ethernet, que gerenciam as conexões de entrada e saída da planta.

O cartão de entrada analógica conecta-se às válvulas, que retornam informações sobre seu estado de abertura, e aos sensores de vazão e nível, que enviam os valores medidos ao controlador. O cartão de saída analógica está conectado aos inversores, que recebem comandos do sistema para ajustar a velocidade das bombas, e às válvulas, que recebem comandos para regular sua abertura.

O cartão de entrada digital é responsável por conectar os sensores de nível máximo dos tanques, que fornecem sinais de alerta ao sistema quando os tanques estão cheios, servindo como uma medida de segurança. O cartão de saída digital está ligado aos inversores, que recebem sinais do sistema para seu acionamento.

O código implementado no controlador é desenvolvido no ambiente RSLogix 5000.

Figura 10 – CLP ControlLogix 5561 da Allen-Bradley.



Fonte: JUNIOR (2022).

3.2.7 Painel da Planta

O painel elétrico de controle, apresentado na Figura 11, é constituído por uma estrutura metálica que abriga as conexões elétricas. Em seu interior, estão o CLP e os inversores de frequência. Na parte frontal do painel, há botões que permitem ligar o sistema, além de LEDs que indicam o estado de alguns componentes.

Figura 11 – Painel da planta.



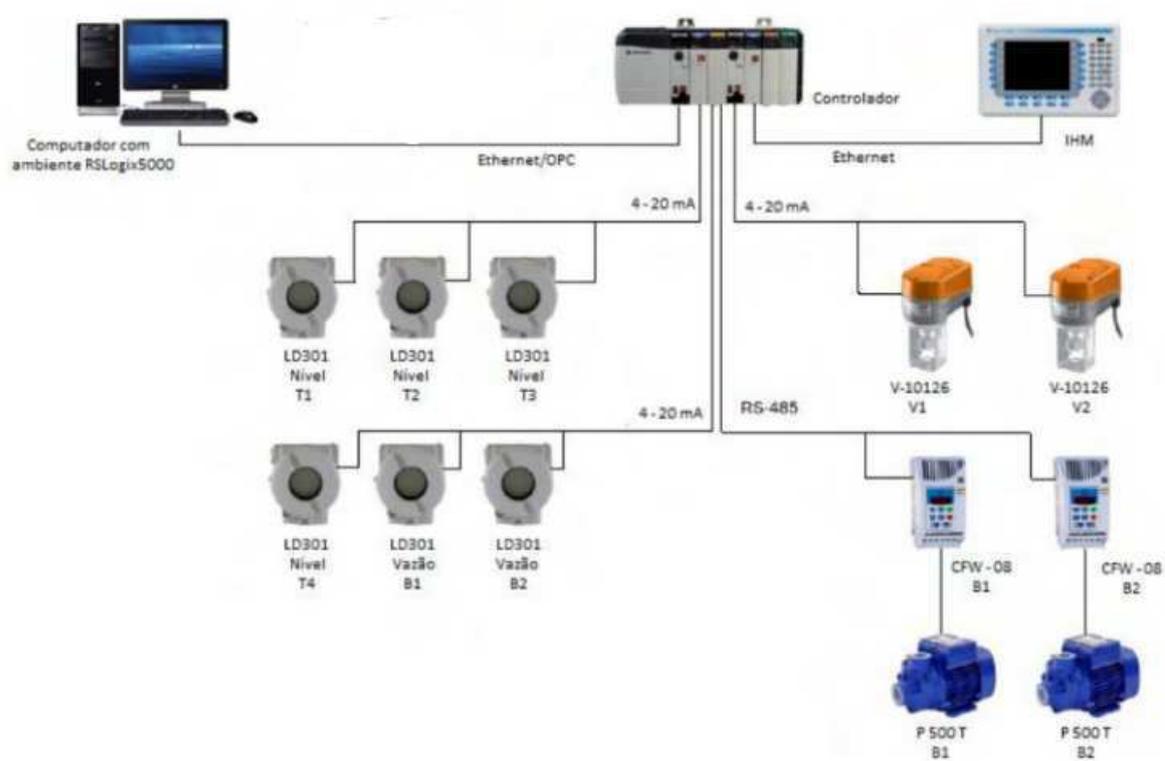
Fonte: JUNIOR (2022).

3.3 Conexão dos Componentes

O esquema de conexão dos componentes da planta é apresentado na Figura 12. É possível visualizar o CLP, o elemento central do sistema, conectado a todos os outros componentes com as seguintes características:

- Conectado ao computador via Ethernet e utilizando o padrão OPC para a troca de mensagens. É por essa conexão que o programa desenvolvido no ambiente RSLogix 5000 é embarcado no CLP;
- Conectado a dois inversores de frequência via RS-485, cada um ligado a uma bomba, realizando o controle de velocidade das bombas;
- Conectado aos sensores de pressão diferenciais pelo cartão de saídas analógicas 4-20 mA, que convertem a diferença de pressão em uma leitura de nível;
- Conectado a duas válvulas elétricas pelo cartão de entradas analógicas 4-20 mA, que realizam o esvaziamento dos tanques quando acionadas;
- Conectado a uma IHM via Ethernet, permitindo a visualização e controle do sistema quando a IHM está em funcionamento.

Figura 12 – Esquema de conexão dos componentes.



Fonte: Adptado de MAIA (2016).

4 Atividades Realizadas

Neste capítulo, serão descritas as atividades realizadas durante o estágio supervisionado. Para alcançar os objetivos propostos, foram determinadas etapas de estudo e desenvolvimento. Essa abordagem permitiu que, após a familiarização com a planta e o CLP, os guias de laboratório fossem construídos. As etapas de desenvolvimento incluíram a execução prática dos experimentos, seguida pela produção dos guias.

4.1 Atividades de Estudo

Para realizar o estágio, foi necessário estudar e aprender conceitos importantes. Isso incluiu a leitura dos documentos disponibilizados pelo LIEC e a revisão de alguns conceitos apresentados anteriormente. Os tópicos de estudo foram:

- Estudo sobre o CLP e seu ambiente de programação;
- Estudo sobre a implementação de programas usando a linguagem LADDER e rotinas;
- Estudo sobre a planta de nível e sua forma de operação.

4.2 Atividades de Desenvolvimento

Para o desenvolvimento dos materiais foram necessárias as realizações de algumas etapas, sendo elas:

- Manutenção da planta;
- Execução dos experimentos.

4.2.1 Manutenção da planta

Após um longo período de operação sem manutenção contínua, as conexões pneumáticas, localizadas conforme ilustrado na Figura 13, ficaram obstruídas, resultando na paralisação dos tanques 1 e 4. Essas conexões são responsáveis por conectar os sensores de pressão diferenciais aos tanques com o fluido. Para garantir a realização das leituras corretas e o funcionamento adequado da planta, a manutenção dessas conexões tornou-se essencial. A discente colaborou na substituição das conexões pneumáticas de engate rápido.

Figura 13 – Localização da conexão pneumática no tanque 1.



4.3 Execução dos Experimentos

Após a manutenção e os estudos realizados, foram executados os testes dos códigos implantados no sistema, descritos no Guia 03, presente no Apêndice A. O objetivo dos experimentos foi permitir que a discente compreendesse o funcionamento do sistema, a fim de explicar detalhadamente o processo nos guias.

4.4 Confeção dos Guias

Foram produzidos 3 guias para o sistema. No Guia 1 é introduzido a estrutura geral do sistema de controle de nível utilizando Controladores Lógicos Programáveis (CLPs). Nele, a abordagem é centrada na arquitetura do sistema, incluindo a configuração de hardware e software necessários para o controle do nível em processos industriais. O guia explora a integração entre sensores, atuadores e o CLP.

No Guia 2, são fornecidos detalhes sobre a ativação da planta e as precauções necessárias. O guia inclui um passo a passo sobre como acessar o ambiente de programação do CLP e carregar o programa, além de explicar os diferentes modos de execução disponíveis para o CLP.

O Guia 03 trata da programação do CLP para o controle do nível do sistema. O foco está nas principais rotinas usadas para gerenciar bombas e válvulas. São detalhados os modos de operação do sistema — Manual, Automático, Supervisório e IHM — explicando como cada modo é implementado e a interação entre as variáveis internas e os comandos de controle. O guia também fornece exemplos de código e a lógica das rotinas de controle de três malhas diferentes.

5 Conclusão

Neste trabalho, foram apresentados os resultados obtidos durante o estágio supervisionado, componente curricular do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande. Os objetivos específicos e o objetivo principal propostos foram alcançados, resultando no desenvolvimento de três guias de uso e compreensão da planta de nível.

Após a manutenção da planta, que incluiu a substituição de conexões pneumáticas obstruídas, foi possível realizar experimentos práticos que resultaram na criação de três guias. Esses guias abordam desde a estrutura geral e a arquitetura do sistema de controle de nível até a programação e operação da planta utilizando CLPs.

O Guia 01 introduz a configuração de hardware e software, enquanto o Guia 02 detalha o processo de ativação da planta e as precauções necessárias. Já o Guia 03 foca na programação do CLP, destacando as rotinas de controle e os modos de operação do sistema.

Com a conclusão dessas atividades, os objetivos do estágio foram alcançados. Com o estudo e aprendizado adquiridos pela aluna, foi possível construir guias de instrução para os novos alunos que queiram trabalhar com a planta de nível.

Com relação a trabalhos futuros, podem ser realizados a construção de mais guias abordando o acoplamento dos tanques e a implementação de novas técnicas de controle.

Referências

JUNIOR, P. R. R. d. S. J. J. A. N. B. *Modelagem dos tanques de nível do Laboratório de Controle de Processos*. Campina Grande: LIEC, 2022. 23 p. Citado 7 vezes nas páginas 4, 6, 7, 8, 9, 10 e 11.

LIEC. *Site Oficial do Laboratório de Instrumentação Eletrônica e Controle*. 2022. Acessado em: 23 de agosto de 2022. Citado na página 9. Disponível em: <<https://liec.dee.ufcg.edu.br/>>. Citado na página 2.

MAIA, I. D. d. C. D. *Estágio Supervisionado no Laboratório de Instrumentação Eletrônica e Controle (LIEC)*. Campina Grande: LIEC, 2016. v. 1. 29 p. Citado na página 12.

APÊNDICE A – Materiais Didáticos Confeccionados

Guia 01 - Descrição da Planta de nível

Introdução

Nas indústrias, monitorar e controlar os processos industriais é essencial para garantir a eficiência. A instrumentação e automação desses processos buscam proporcionar muitas vantagens, incluindo a otimização do funcionamento, a redução da necessidade de mão de obra, a diminuição do tempo necessário para o controle durante o processo e uma maior segurança, ao afastar a necessidade da intervenção humana direta.

Uma das variáveis mais comuns e importantes em aplicações industriais é o nível. Em muitos processos, é preciso garantir certo nível de fluido em um tanque, pois a quantidade de fluido é calculada para atender à necessidade dos processos. Além disso, o controle de nível é importante para a segurança operacional. Por exemplo, em tanques que armazenam produtos químicos, o controle errado de nível pode resultar em situações perigosas, como vazamentos de substâncias tóxicas. Por esta razão, se faz necessária a instrumentação e automatização do controle de nível, para que seja possível mitigar riscos, mantendo os níveis dentro de limites seguros e caso necessário acionando alarmes ou procedimentos de emergência.

Utilizando sistemas de controle de nível, é possível garantir o controle e confiabilidade de processos industriais, especificamente no controle de tanques que contenham fluidos. O objetivo deste guia é apresentar ao aluno a planta de nível que está disponível no Laboratório de Instrumentação Eletrônica e Controle (LIEC), para que ele tenha o conhecimento necessário para realizar as atividades e manipulações necessárias.

Descrição da Planta

A planta de nível possui 4 tanques idênticos, que são numerados, sendo o da extrema esquerda o tanque número 1 e o da extrema direita o tanque número 4. Eles são conectados entre si e com o reservatório, identificado como o número 5, por meio de válvulas manuais. As válvulas manuais, da cor laranja, estão localizadas a meia altura entre o primeiro par e o segundo par de tanques, na base de cada tanque, e também na parte inferior de cada tanque. Na Figura 1 é apresentada a planta didática com os tanques de nível.

Para abastecer os tanques a partir do reservatório, são usadas duas bombas hidráulicas, cada uma acionada por um inversor de frequência. Os tanques podem ser abastecidos utilizando qualquer uma das bombas, sendo a escolha determinada pela abertura das válvulas manuais, amarelas, controladas pelo usuário. O reservatório, as bombas e os tanques estão conectados por tubos azuis que se ligam ao topo dos tanques. Esses tubos azuis estão destacados com a numeração 1 e 2, de acordo com a bomba que os abastece.

A planta possui 6 sensores diferenciais de pressão, sendo 4 para os tanques, onde cada tanque possui um sensor, e 2 conectados entre cada um dos motores e a tubulação azul. Com o propósito de garantir a segurança do sistema, cada um dos tanques e o reservatório possuem uma boia de segurança, que desliga o sistema caso algum tanque atinja seu nível máximo.

Figura 1 – Planta didática com tanques de nível.



O sistema ainda possui duas válvulas elétricas, que estão conectadas entre os tanques e o reservatório, e são utilizadas para o esvaziamento dos tanques no sistema de controle.

Como todos os tanques estão interligados, conectados a duas bombas e com a presença das válvulas manuais nas tubulações, é possível a execução de diferentes experimentos por meio das diversas configurações possíveis. Os componentes da planta são controlados por um CLP da Allen-Bradley, que é programado no ambiente RSLogix5000, desenvolvido pela Rockwell. A planta também possui uma IHM, entretanto, por falta de atualização de licença, ela não está sendo utilizada.

Detalhamento dos Componentes

Nesta seção são apresentados, de maneira individualizada, cada um dos componentes presentes na planta.

Tanques

O sistema possui 4 tanques cilíndricos e idênticos, com 1,1 m de altura e 0,69 m de diâmetro interno, como apresentado na Figura 2. Eles possuem uma capacidade de aproximadamente 38 litros de água.

Figura 2 – Modelo de tanque presente na planta.



Válvulas

Há dois tipos de válvulas presentes no sistema para controlar o escoamento em três diferentes tipos de tubulações. As válvulas manuais têm a função de ajustar e limitar a máxima passagem de fluido nas seguintes tubulações:

- Azul: Nessa tubulação, é realizada a passagem de água, pelo motor, do reservatório para os tanques. As válvulas para esse controle estão destacadas em amarelo na Figura 3;
- Marrom: Nessa tubulação, é realizada a passagem de água entre os tanques e para o reservatório. As válvulas para esse controle estão destacadas em laranja na Figura 3.

Já as válvulas elétricas, apresentadas na Figura 4, são do modelo NVF24-MFT-E-50 V-10126, fabricadas pela BELIMO. A tensão de alimentação dessas válvulas é de 110V-220V, e elas operam em uma faixa de temperatura de -10°C a 50°C , com uma expectativa de vida de 50.000 ciclos, onde cada ciclo equivale a 12 segundos. As válvulas elétricas são acionadas pelo CLP para controlar o nível dos tanques, permitindo o escoamento da água para o reservatório.

Bombas Hidráulicas

As bombas hidráulicas, apresentadas na Figura 5, são do modelo HYDROBLOC P500T, produzidas pela KSB Bombas Hidráulicas S/A. Este modelo é trifásico, possui potência nominal de 0,5 HP e elevação máxima de 35 metros.

As bombas KSB HYDROBLOC da linha P são compactas, pesando 5,5 kg. Elas podem bombear uma vazão de até 45 l/min em elevações de até 70 m, e são capazes de trabalhar com líquidos a temperaturas de até 80°C . A tensão de operação é de 220–380V.

Figura 3 – Válvulas manuais usadas na planta.



Figura 4 – Válvulas elétricas usadas na planta.



Essas bombas são projetadas tanto para uso doméstico quanto industrial, onde são necessárias pressões e vazões obtidas a custos reduzidos. São recomendadas para bombear água limpa, realizar bombeamento para reservatórios, aumento de pressão na rede, entre outras aplicações.

Inversores de Frequência

Os inversores de frequência usados para controlar a velocidade da bomba hidráulica são do modelo SFW08. Eles possuem dois tipos de controle: controle vetorial (VVC, do inglês *Voltage Vector Control*) ou escalar (V/F). Além disso, possuem uma interface de operação onde é exibida a frequência em Hertz, e são disponibilizados botões para o operador interagir com o componente. Os inversores de frequência são apresentados na Figura 6.

Figura 5 – Motor hidráulico utilizado na planta.



Figura 6 – Inversores utilizados na planta.



Sensor de Pressão Diferencial

Os sensores de nível e vazão utilizados na planta são do modelo LD301 da Smar. Eles pesam 3,5 kg, operam em uma temperatura máxima de 85°C e possuem uma exatidão de 0,075%. Eles utilizam células capacitivas como elementos sensores de pressão. Os sensores são apresentados na Figura ??.

Figura 7 – Sensores de pressão diferenciais utilizados na planta.



Esses sensores são usados para determinar o nível do tanque com base na diferença de pressão em uma coluna, conforme ilustrado na Figura 8. Para seu correto funcionamento, é necessário realizar calibrações, definindo o zero e o máximo da coluna. É importante ressaltar que cada tanque possui sua própria coluna.

Figura 8 – Coluna utilizada para realizar as medições pelo sensor.



Controlador Lógico Programável - CLP

O controlador da planta é o CLP ControlLogix 5561 da Allen-Bradley, , apresentado na Figura 9, com o número de catálogo 1756-L61. Este controlador é equipado com cartões de entrada e saída analógicos, entrada e saída digitais, e um cartão de Ethernet, que gerenciam as conexões de entrada e saída da planta.

O cartão de entrada analógica conecta-se às válvulas, que retornam informações sobre seu estado de abertura, e aos sensores de vazão e nível, que enviam os valores medidos ao controlador. O cartão de saída analógica está conectado aos inversores, que recebem comandos do sistema para ajustar a velocidade das bombas, e às válvulas, que recebem comandos para regular sua abertura.

O cartão de entrada digital é responsável por conectar os sensores de nível máximo dos tanques, que fornecem sinais de alerta ao sistema quando os tanques estão cheios, servindo como uma medida de segurança. O cartão de saída digital está ligado aos inversores, que recebem sinais do sistema para seu acionamento.

O código implementado no controlador é desenvolvido no ambiente RSLogix 5000.

Painel da Planta

O painel elétrico de controle, apresentado na Figura 10, é constituído por uma estrutura metálica que abriga as conexões elétricas. Em seu interior, estão o CLP e os inversores de frequência. Na parte

Figura 9 – CLP ControlLogix 5561 da Allen-Bradley.



frontal do painel, há botões que permitem ligar o sistema, além de LEDs que indicam o estado de alguns componentes.

Figura 10 – Painel da planta.



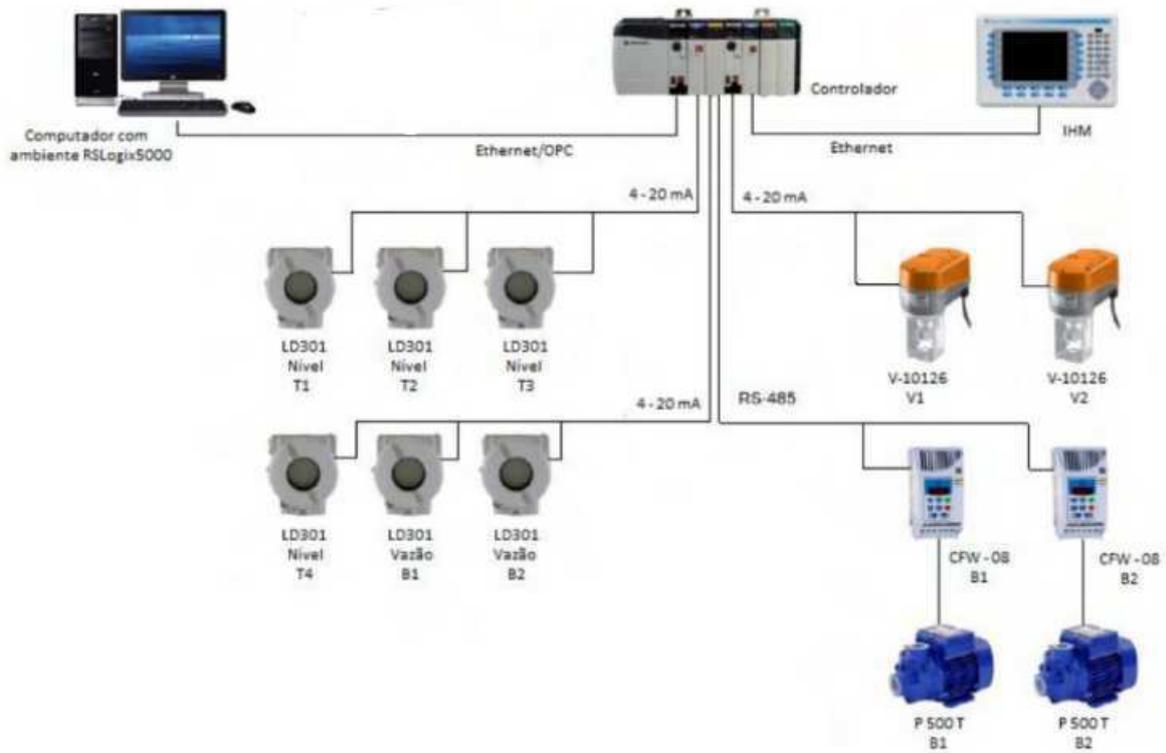
Conexão dos Componentes

O esquema de conexão dos componentes da planta é apresentado na Figura 11. É possível visualizar o CLP, o elemento central do sistema, conectado a todos os outros componentes com as seguintes características:

- Conectado ao computador via Ethernet e utilizando o padrão OPC para a troca de mensagens. É por essa conexão que o programa desenvolvido no ambiente RSLogix 5000 é embarcado no CLP;
- Conectado a dois inversores de frequência via RS-485, cada um ligado a uma bomba, realizando o controle de velocidade das bombas;

- Conectado aos sensores de pressão diferenciais pelo cartão de saídas analógicas 4-20 mA, que convertem a diferença de pressão em uma leitura de nível;
- Conectado a duas válvulas elétricas pelo cartão de entradas analógicas 4-20 mA, que realizam o esvaziamento dos tanques quando acionadas;
- Conectado a uma IHM via Ethernet, permitindo a visualização e controle do sistema quando a IHM está em funcionamento.

Figura 11 – Esquema de conexão dos componentes.



Guia 02 - Inicialização do Sistema

Introdução

Este guia tem como objetivo fornecer instruções para a preparação e o acionamento da planta de nível, incluindo como ligar a planta e carregar o programa no CLP. A planta, disponível no LIEC, é composta por diversos componentes interconectados, incluindo um Controlador Lógico Programável (CLP), inversores de frequência, bombas hidráulicas, sensores de pressão e válvulas elétricas.

Preparação Inicial

Antes de colocar a planta em pleno funcionamento, é necessário verificar algumas condições para evitar problemas, sendo elas:

- Verificar se o reservatório possui água suficiente para o experimento a ser realizado. Isso é importante porque se a bomba hidráulica operar sem água, pode acarretar problemas para ela.
- Verificar se as válvulas manuais de escoamento para o reservatório estão fechadas ou levemente abertas. Caso estejam totalmente abertas, isso pode causar danos à bomba hidráulica, pois a vazão de saída será maior que a de entrada. Como a potência do motor não será suficiente para compensar essa diferença, o experimento pode ser comprometido.

Ligando a Planta

Para a ligação da planta, é necessário seguir alguns passos, uma vez que a alimentação do CLP não está conectada à alimentação dos demais componentes.

A ativação do CLP é realizada por meio de um nobreak localizado sobre o painel de comando. O nobreak está destacado na Figura 1.

Figura 1 – Nobreak do CLP.



A ativação dos demais componentes é realizada por meio do painel de comando, onde está localizada a chave de acionamento destacada na Figura 2. Gire a chave para a direita para ativar os componentes.

Figura 2 – Chave para ligação dos componentes.



Ambiente de Programação

Para acessar o ambiente de programação, é necessário entrar na aplicação de máquina virtual, VMware Workstation 12 Player, apresentada na Figura 3, e acessar o ambiente configurado chamado Rockwell, que contém as aplicações necessárias. Dentro da máquina virtual, estão disponíveis várias aplicações, e dentre elas, a utilizada será o RSLogix 5000, como mostrado na Figura 4.

Figura 3 – Ícone do VMware Workstation 12 Player.



Após abrir o ambiente de programação do CLP, é necessário carregar o código criado para a operação da planta de nível. Para isso, vá em **File** e clique no projeto **LIEC_LEVEL.ACD**, conforme mostrado na Figura 5.

Assim que o projeto for aberto, vai ser apresentado na lateral esquerda do programa a estrutura de pastas do projeto, incluindo *tags* do controlador, tarefas, tipos de dados, e a configuração de E/S.

Figura 4 – Ícone do RSLogix 5000 dentro da máquina virtual.

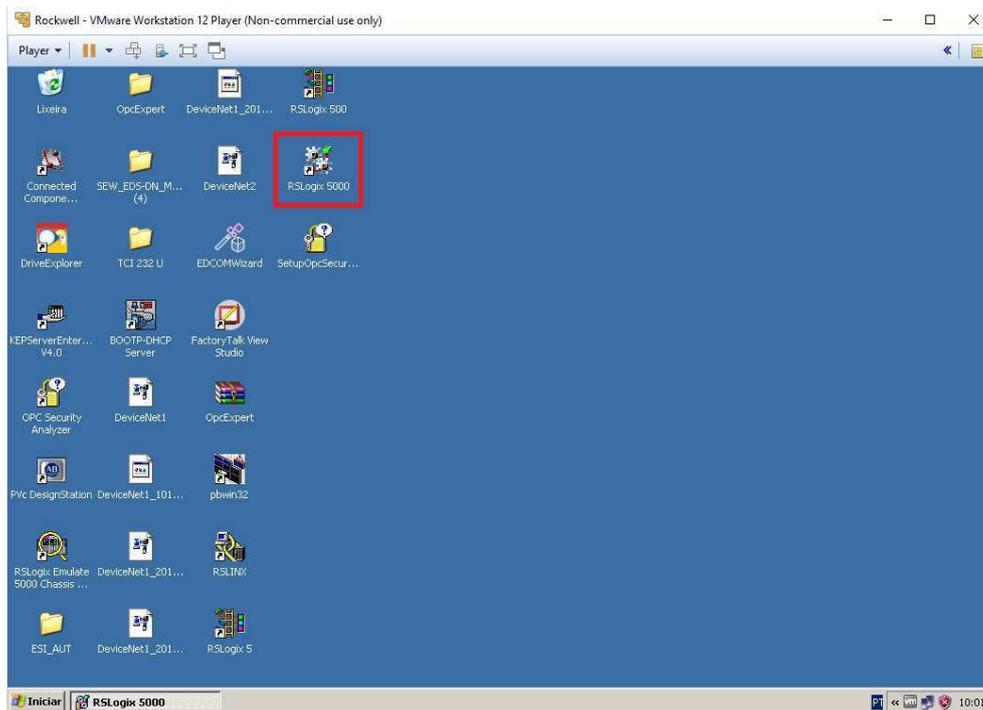
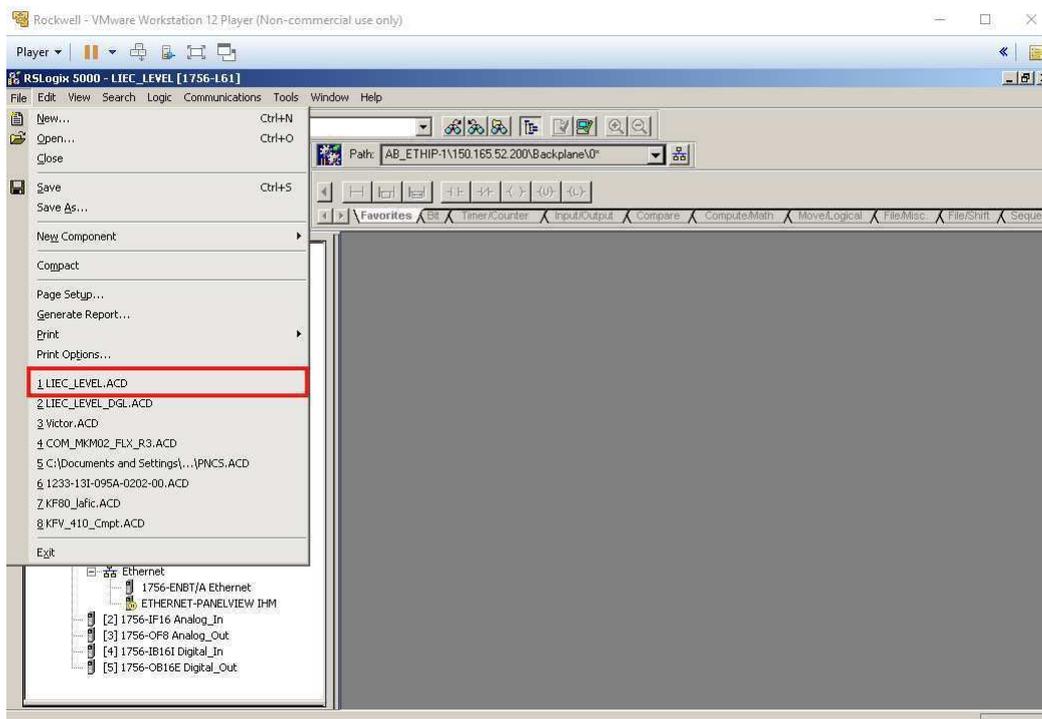


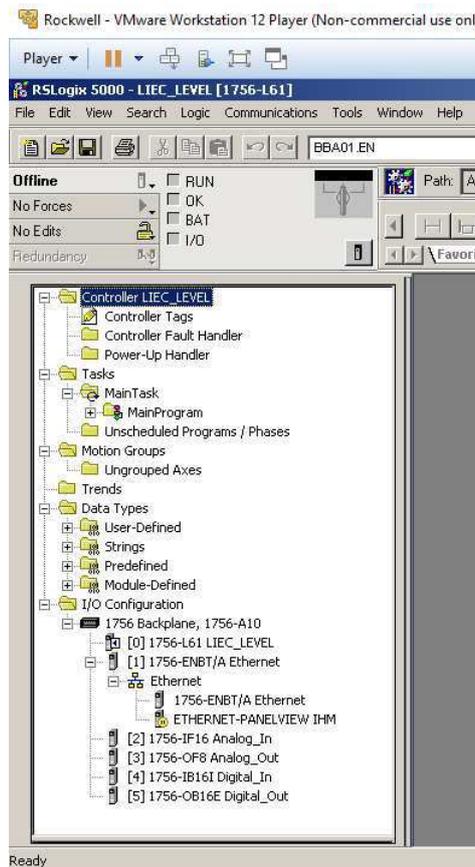
Figura 5 – Tela do RSLogix 5000 para escolha do projeto.



Nas subpastas de **Controller LIEC_LEVEL**, encontra-se a pasta **Controller Tags**, que armazena tags globais acessíveis em qualquer parte do programa. A pasta **Controller Fault Handler** é o local onde se define como o controlador deve responder a falhas. Já a pasta **Power-Up Handler** permite configurar o comportamento do controlador durante a energização.

A pasta **Tasks** contém as subpastas **MainTask** e **Unscheduled Programs/Phases**. **MainTask** abriga a rotina principal (**MainProgram**), onde a maior parte da lógica de controle é implementada.

Figura 6 – Estrutura de pastas do projeto no RSLogix 5000.



Dentro dela, encontram-se sub-rotinas ou programas que podem ser agendados ou não. A subpasta **Unscheduled Programs/Phases** contém rotinas não agendadas para execução automática, mas que podem ser chamadas manualmente ou por outros programas.

Na pasta **Motion Groups**, a subpasta **Ungrouped Axes** representa eixos disponíveis para controle de movimento, mas que ainda não foram agrupados. Isso é especialmente utilizado em aplicações que envolvem controle de movimento, como em robótica ou CNC (Comando Numérico Computadorizado).

A pasta **Trends** permite monitorar e gravar dados em tempo real para análise posterior, incluindo variáveis de processo, desempenho do sistema, entre outros.

A pasta **Data Types** possui a subpasta **User-Defined**, onde estão armazenados os tipos de dados personalizados criados pelo usuário, e as subpastas **Strings**, **Predefined**, **Module-Defined**, que contêm tipos de dados padrão disponíveis no RSLogix 5000, como cadeias de caracteres (*strings*), tipos de dados predefinidos e tipos de dados específicos de módulos de entrada/saída.

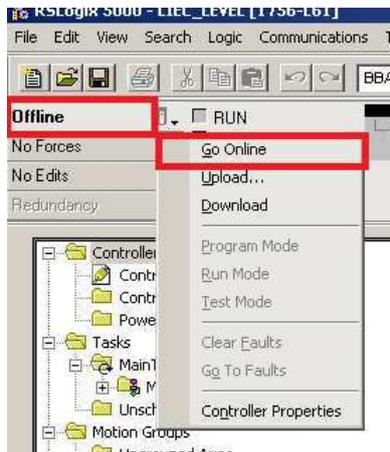
A pasta **I/O Configuration** mostra a configuração física dos módulos de entrada/saída e do chassi do controlador. Na subpasta **1756-A10, 1756-L61 LIEC_LEVEL**, é apresentada a disposição dos módulos de I/O no controlador. A subpasta **Ethernet** indica que há comunicação via Ethernet configurada, com dispositivos como painéis de operação (IHM) conectados ao sistema. As subpastas dos **Módulos de I/O** incluem módulos de entrada analógica (**1756-IF16**), saída analógica (**1756-OF8**), entradas digitais (**1756-IB16I**) e saídas digitais (**1756-OB16E**). Esses módulos são responsáveis por interagir com os sensores e atuadores conectados ao controlador.

Carregamento de Código no CLP

Para que o programa seja carregado e executado no Controlador Lógico Programável (CLP), siga os passos abaixo:

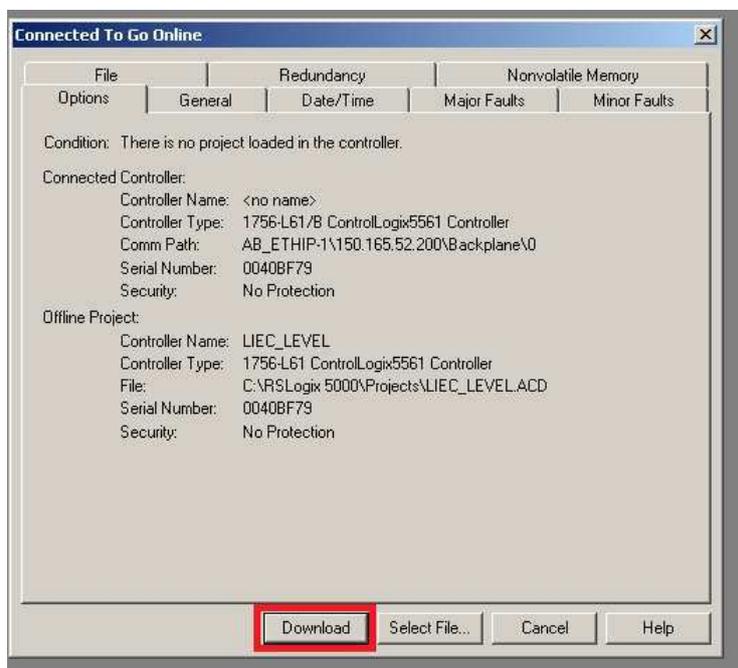
1. Primeiro, clique em *Offline* e, em seguida, selecione a opção *Go Online*, conforme mostrado na Figura 7.

Figura 7 – Tela inicial do RSLogix 5000 mostrando a opção *Go Online* para conectar-se ao CLP.



2. Realize o download do programa, conforme ilustrado na Figura 8.

Figura 8 – Janela de *download* do programa no RSLogix 5000, indicando o progresso da transferência para o CLP.



Após o download, o programa estará carregado e em execução no CLP.

Existem três modos para a execução do projeto: **REM**, **RUN** e **PROG**. No modo **RUN**, o CLP executa o código. No modo **PROG**, o CLP apenas permite a programação e não executa o código. Já

no modo **REM**, o CLP pode tanto executar o código quanto ser programado simultaneamente enquanto está em execução.

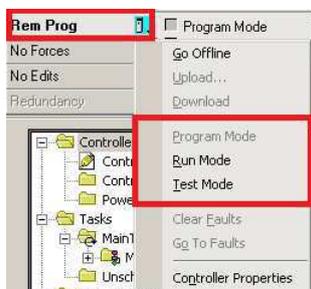
Para a configuração dos modos de execução, existem duas maneiras. A primeira é por *hardware*, onde no CLP há uma chave que permite selecionar o modo desejado, conforme apresentado na Figura 9.

Figura 9 – Chave de configuração no CLP para selecionar o modo de execução desejado.



A segunda maneira é via *software*: se a chave do CLP estiver configurada para o modo *REM*, você pode escolher o modo de operação diretamente no ambiente de programação RSLogix 5000 enquanto o CLP está online, como mostrado na Figura 10.

Figura 10 – Tela do RSLogix 5000 mostrando a seleção do modo.



Guia 03 - Entendendo as Rotinas do Sistema

Introdução

Por trás de cada Controlador Lógico Programável (CLP), existe uma lógica de programação para a realização do controle dos processos industriais. Neste guia, será apresentada a lógica utilizada para o sistema de controle de nível, detalhando como a lógica do sistema foi construída e configurada para atender às necessidades de automação.

Modos de Operação e Rotinas do Sistema

O sistema foi projetado para operar em quatro modos distintos: Manual, Automático, Supervisório e IHM (Interface Homem-Máquina). Além disso, foi desenvolvido com diversas rotinas, cada uma com funções específicas, divididas da seguinte forma:

- **Rotina de Segurança:** Garante que todas as operações estejam dentro dos parâmetros seguros.
- **Rotina de Controle de Válvulas:** Gerencia a abertura e o fechamento das válvulas.
- **Rotina de Controle das Bombas:** Regula o funcionamento das bombas, ajustando parâmetros como velocidade e frequência de rotação.
- **Rotina de Definição do Modo de Operação:** Permite a seleção e mudança entre os diferentes modos de operação.
- **Rotina para cada Malha:** Coordena e integra os componentes para realizar o controle de determinada malha do sistema.
- **Rotina `main`:** Código principal que aciona todas as rotinas descritas acima.

No modo Manual, os comandos são gerenciados por tags de controle, permitindo ajustes manuais das variáveis internas do CLP, como a velocidade do motor ou a abertura da válvula. Já no modo Automático, os níveis são controlados por um controlador PID. Nesse modo, é necessário apenas que o usuário acione a malha para que o sistema ajuste automaticamente a velocidade da bomba hidráulica e/ou a abertura das válvulas.

Nos modos Supervisório e IHM, a modificação dos dados é feita através do sistema Supervisório ou da IHM, e não diretamente pelo ambiente de desenvolvimento do CLP.

A seguir, serão apresentadas cada uma das rotinas detalhadamente.

Rotina Main

A rotina `main` é onde são chamadas as diversas sub-rotinas que compõem o controle da planta. Ela serve como o ponto de partida da execução do programa, onde são iniciadas as verificações de segurança e o gerenciamento das operações do sistema.

Na Figura 1, é apresentada a primeira parte da rotina principal, onde são chamadas as sub-rotinas para o controle da bomba, da válvula e das verificações de segurança. Onde as três primeiras sempre estão ativas e é verificado se a variável de modo de operação está ativada para acionar a rotina correspondente ao modo de operação.

Figura 1 – Trecho da rotina main que configura o sistema.

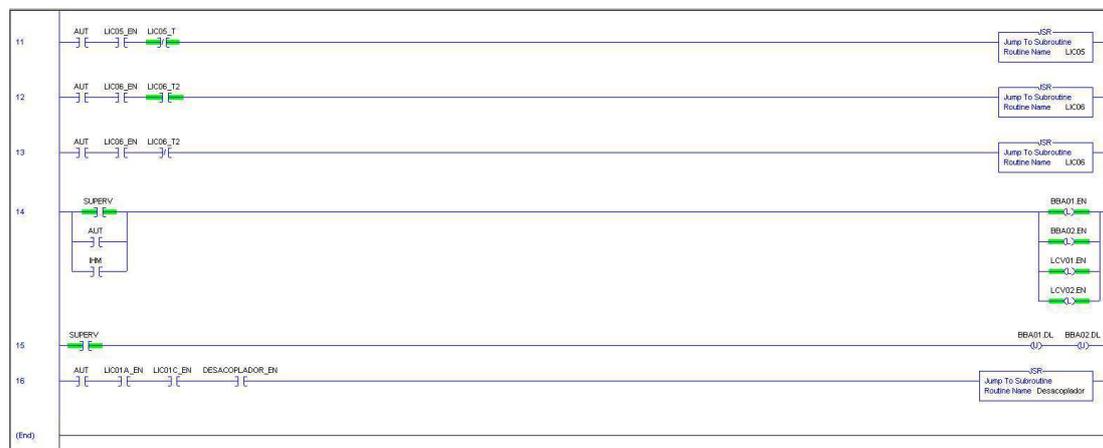


Outras sub-rotinas são acionadas na rotina principal, conforme mostrado nas Figuras 2 e 3. Caso o sistema esteja no modo automático e a malha correspondente esteja ativada para operação, a rotina de controle daquela malha será chamada. Na linha 14, conforme apresentado na Figura 3, os sistemas são ativados: as bombas e as válvulas são acionadas quando qualquer um dos modos é ativado.

Figura 2 – Trecho da rotina main que executa as subrotinas das malhas part. 1.



Figura 3 – Trecho da rotina main que executa as subrotinas das malhas part. 2.



Subrotina de controle das bombas - BBA_CONTROL

Esta rotina gerencia as duas bombas da planta, com o código LADDER duplicado para cada uma. Portanto, a análise a seguir será focada apenas em uma das bombas. Todos os contatos e saídas mencionados, no formato BBA0x.y, fazem parte de um tipo de dado criado pelo programador (consulte Tabela ??). Essas variáveis funcionam como variáveis internas e não correspondem diretamente a entradas ou saídas físicas do CLP, embora estejam indiretamente associadas a elas. Por exemplo, a variável BBA01.LG faz parte do tipo de dado e é utilizada no acionamento da bomba 1, enquanto BB01.LG é a variável diretamente associada à saída física do CLP. Este padrão de identificação, utilizando "." e "_" é aplicado a outras tags semelhantes. TABELA 1 E 2 q

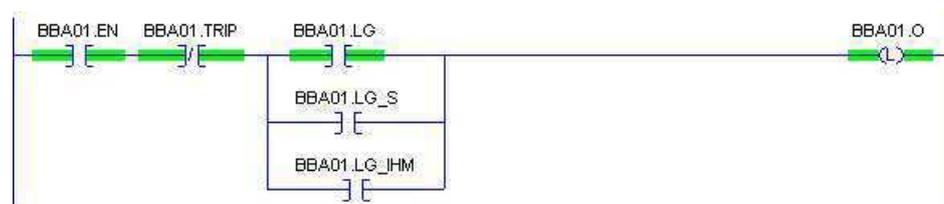
Uma entrada de RESET é utilizada para permitir o acionamento da bomba. Por padrão, existem três entradas que desempenham a mesma função: acionamento manual por meio do software PLC, do supervísório e da IHM. A ativação da variável interna BBA0x.TRIP ajuda a desarmar a bomba, colocando-a em estado de espera pelo comando do inversor de frequência. Para isso, é utilizada uma saída do tipo UNLATCH (reset), conforme mostrado na Figura 4. Este processo só é finalizado quando a saída física BBA0x.LG é ativada.

Figura 4 – A ativação da variável interna BBA0x.TRIP.



Na linha seguinte e Figura 5, BBA0x.TRIP é conectado em série com BBA0x.EN (habilitação da bomba) e BBA0x.LG (função de ligar a bomba – “botoeira liga”) para ativar a saída BBA0x.O, uma saída física digital do tipo LATCH (set), que aciona o inversor.

Figura 5 – Acionamento da bomba 1.



Logo em seguida, a mesma saída BBA0x.O aparece novamente, mas agora como um comando de UNLATCH (reset). Este reset é ativado pelo contato BBA0x.DL (função de desligar a bomba), o trecho é apresentado na Figura 6.

Em seguida na linha apresentada na Figura 7, três contatos em série (BBA0x.O NA, BBA0x.EN NA e BBA0x.TRIP NF) acionam duas saídas conectadas em série (BBA0x.LG e BBA0x.DL), que são os data types responsáveis por ligar e desligar, respectivamente, o inversor. Fisicamente, a variável BBA0x.LG está associada a um contato normalmente aberto, enquanto BBA0x.DL está associada a um contato normalmente fechado.

Nas três linhas seguintes apresentadas na Figura 8, é implementada uma lógica de comparação. A tag BBA0x.ST (relé de status do inversor) é comparada com os valores 0, 1 e 2, sendo que cada um

Figura 6 – Desligamento da bomba 1.

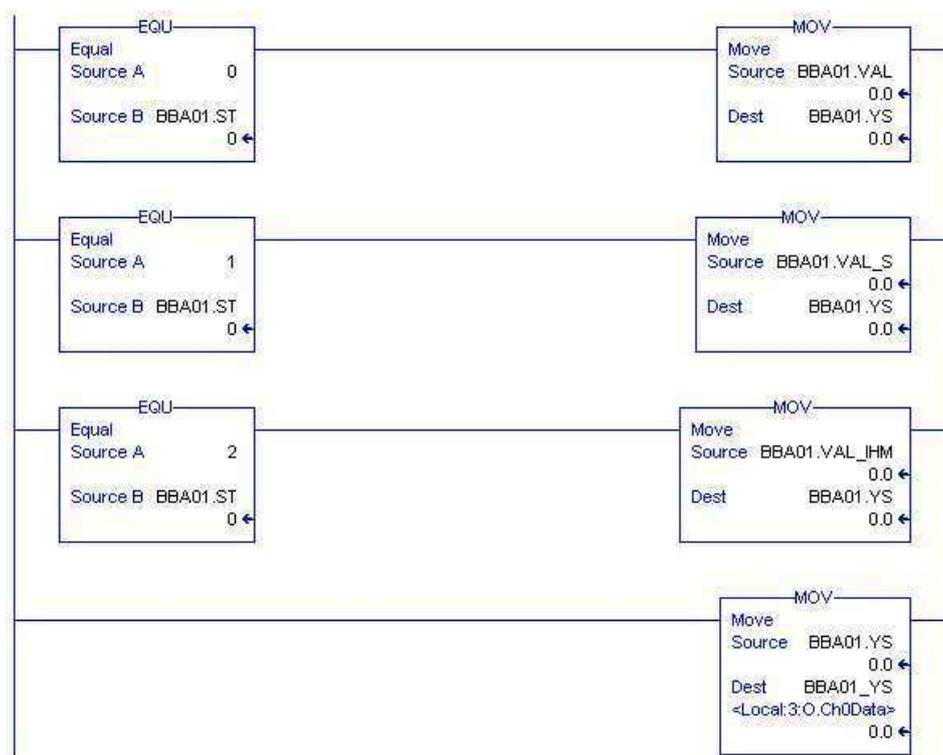


Figura 7 – Acionamento dos data types responsáveis por ligar e desligar o inversor.



desses valores define a origem da referência de velocidade da bomba, que é então transferida para a saída analógica BBA0x.YS (saída analógica do inversor de frequência responsável por indicar a velocidade da bomba). Se o valor em BBA0x.ST for 0, a referência é fornecida via CLP; se for 1, via supervisório; e se for 2, via IHM.

Figura 8 – Seleção da origem do dado de referência de velocidade da bomba.

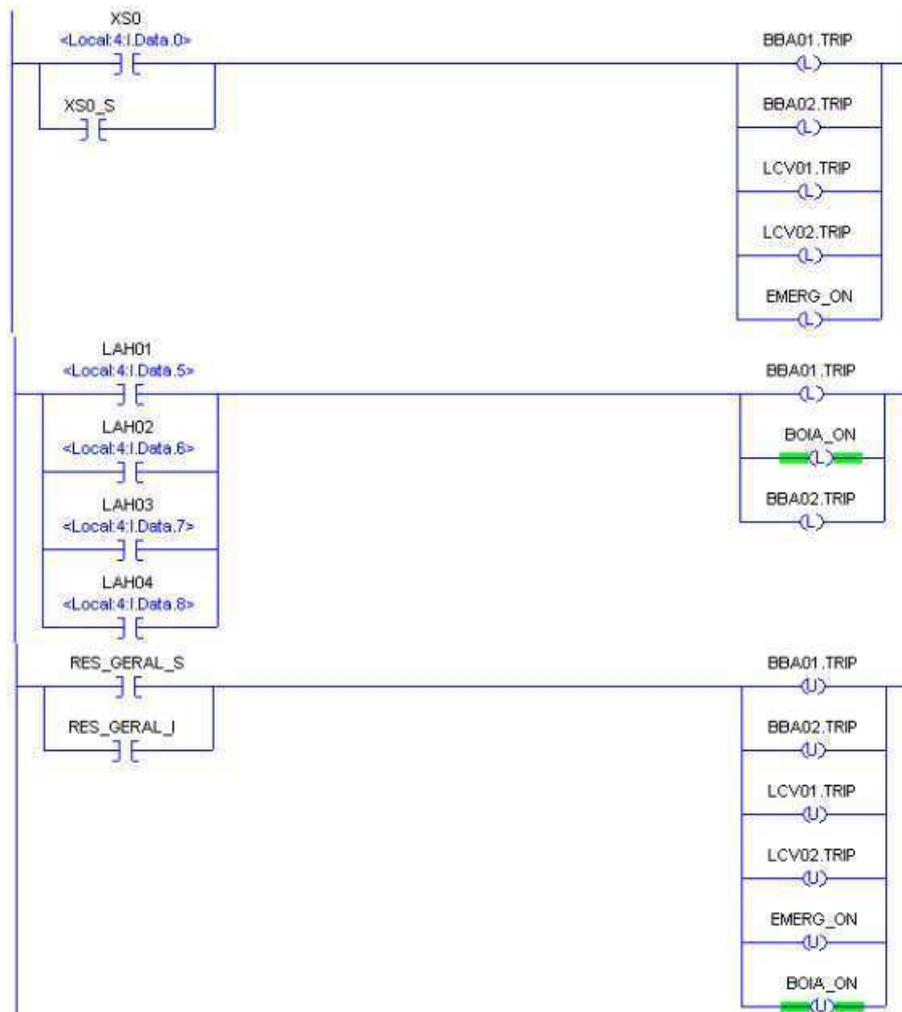


Subrotina de segurança da planta - SEGURANÇA

A subrotina de segurança da planta é apresentada na Figura 9. Nele é observado que a botoeira de emergência geral (XS0) aciona as saídas de desarme das duas bombas (BBA0x.TRIP), das duas válvulas (LCV0x.TRIP) e a saída EMERG_ON, que indica o estado da planta. Em seguida, os quatro contatos associados aos sensores de nível máximo dos tanques (LAH0x) são ativados para desarmar as duas bombas

e acionar o alerta de estado da planta (BOIA_ON). Todas essas saídas são resetadas apenas quando a tag de reset geral é ativada (RES_GERAL_S ou RES_GERAL_I).

Figura 9 – Subrotina de segurança da planta.



Subrotina de controle das válvulas - VALV

As entradas LCV0x.R, LCV0x.R_S e LCV0x.R_IHM são utilizadas para resetar o desarme da válvula por meio da saída LCV0x.TRIP (*UNLATCH*). A parte do código que realiza o reset do desarme da válvula é apresentado na Figura 10.

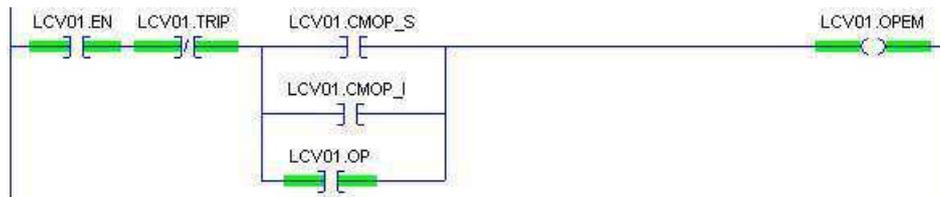
Figura 10 – Trecho para resetar o desarme da válvula.



Como apresentado na Figura 11, este mesmo contato é utilizado em série com a habilitação da válvula (LCV0x.EN) e com os comandos de abertura total da válvula (LCV0x.CMOP_S, LCV0x.CMOP_I e

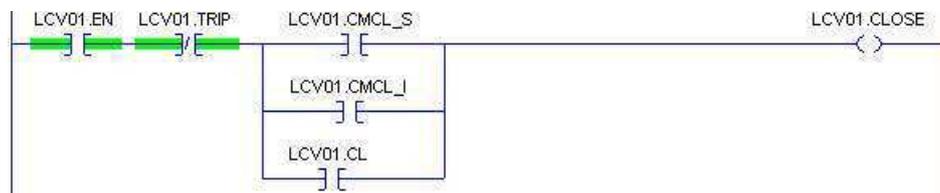
LCV0x.OP) para ativar a saída de controle da válvula, acionando a bobina de abertura (LCV0x.OPEM).

Figura 11 – Acionamento da bobina de abertura (LCV0x.OPEM).



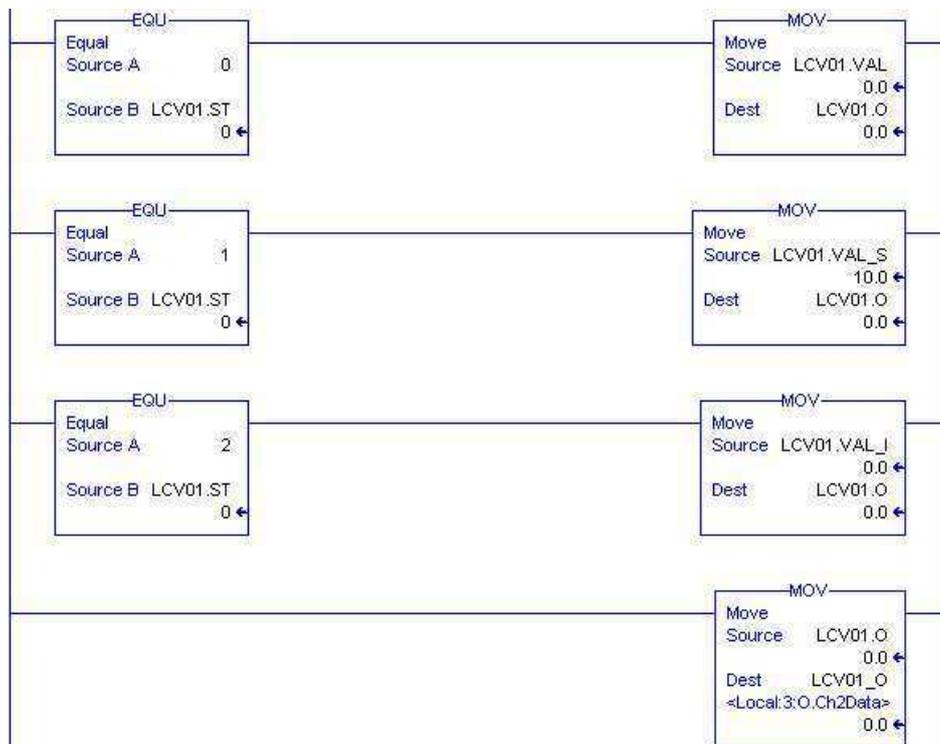
Um comando semelhante, apresentado na Figura 12, é empregado para ativar a saída de controle da válvula por meio da bobina de fechamento (LCV0x.CLOSE), utilizando os contatos LCV0x.CMCL_S, LCV0x.CMCL_I e LCV0x.CL.

Figura 12 – Desacionamento da bobina de abertura (LCV0x.OPEM).



Após esses procedimentos iniciais, uma lógica de comparação, mostrada na Figura 13, é organizada para definir a fonte que comandará o grau de abertura das válvulas, utilizando a tag LCV0x.ST. Se o valor for 0, a fonte será o CLP; se for 1, será o supervisor; e se for 2, será a IHM. A tag utilizada para controlar o grau de abertura da válvula (vazão de saída de água dos tanques 2 e 3) é LCV0x.O. A

Figura 13 – Código de verificação de qual o modo de operação comandará a abertura das válvulas.



subrotina é finalizada com uma instrução, apresentada na Figura 14, de retorno de posição da válvula,

utilizando a tag LCV0x.RET.

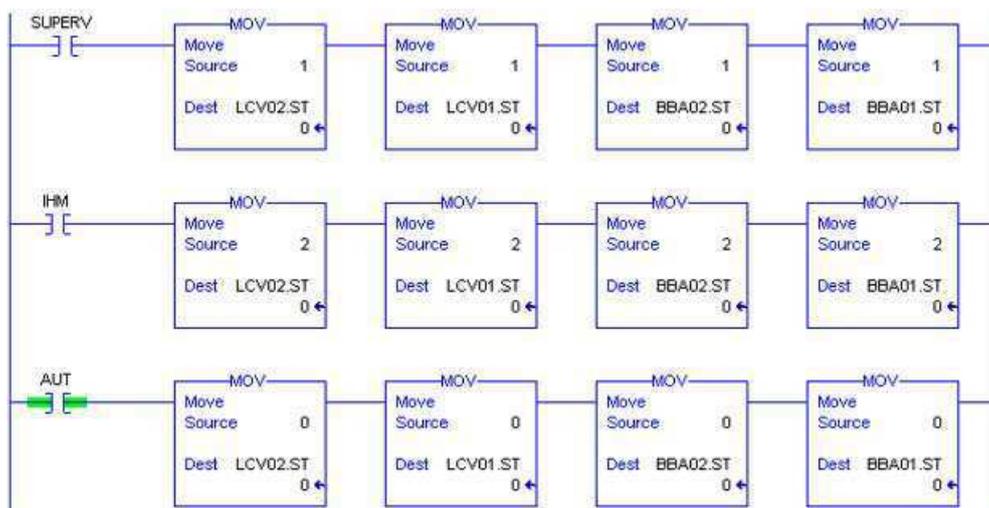
Figura 14 – Instrução de retorno de posição da válvula.



Subrotina dos modos de operação - MOD_OPER

Na Figura 15 é apresentado o trecho do código que a partir das tags habilita o modo de operação. A ativação da tag SUPERV habilita o modo supervisor, a tag IHM ativa o modo IHM, e a tag AUT habilita o modo automático (CLP). Cada uma dessas tags influencia os dados transferidos para as tags utilizadas nas comparações das rotinas descritas anteriormente, que são LCV0x.ST e BBA0x.ST.

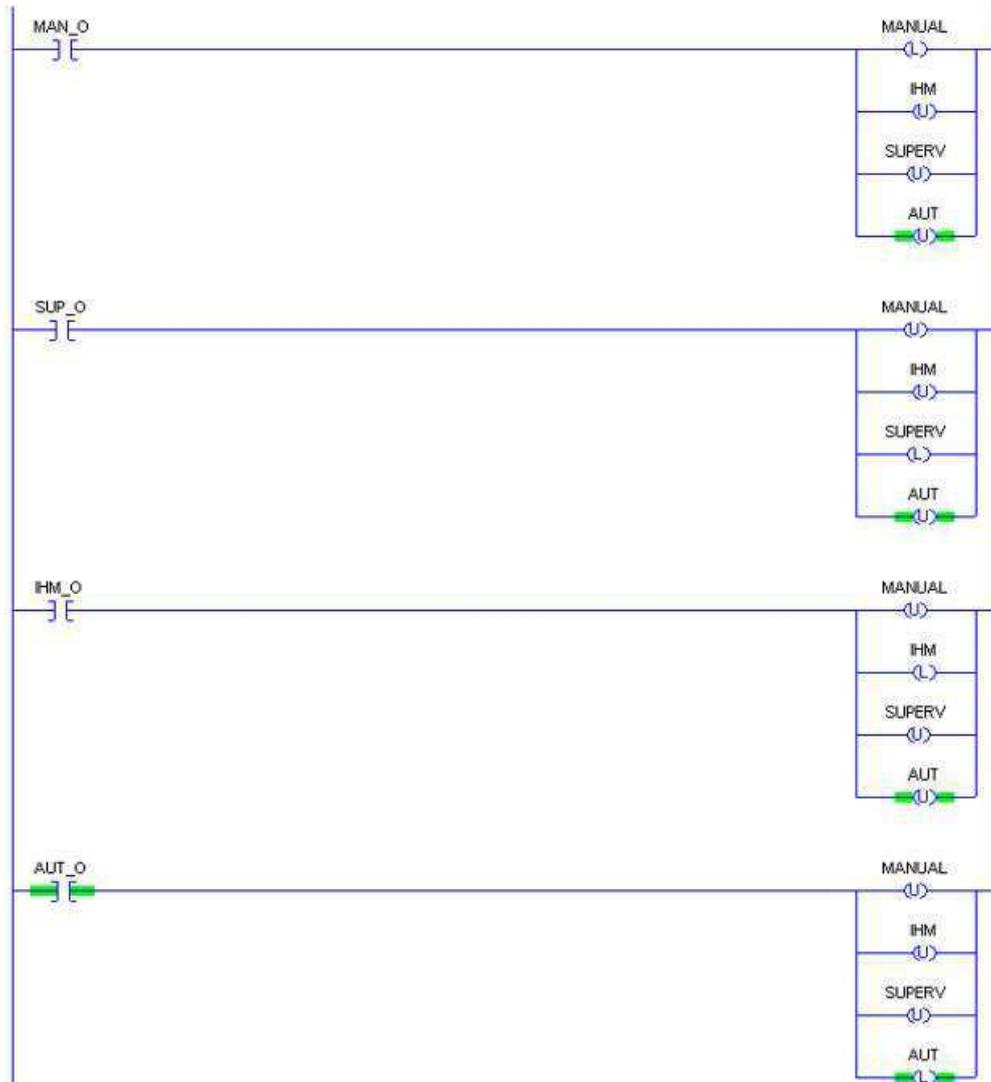
Figura 15 – Trecho do código que realiza a troca dos modos de operação.



Por fim, para a ativação do modo manual, o contato MAN_0 é utilizado para ativar a indicação do estado de funcionamento MANUAL, enquanto desativa as indicações dos outros modos. O mesmo princípio se aplica aos contatos SUP_0, IHM_0 e AUT_0. O trecho do código é apresentado na Figura 16.

Após a conclusão dos acionamentos das subrotinas pela main, que configuram a planta e garantem seu funcionamento seguro, é possível realizar os testes das malhas de maneira automática ou dos componentes de forma manual.

Figura 16 – Ativação do modo de operação manual.



Subrotina de controle das malhas

A seguir, serão apresentadas algumas das subrotinas que ativam malhas contendo: um tanque e uma bomba; um tanque e uma válvula; e um tanque, uma válvula e uma bomba. As subrotinas apresentadas serão LIC01A, LIC01B e LIC05.

LIC01A

Essa malha é ativada se o sistema estiver em modo de operação automático e se **LIC01A.EN** estiver ativada. Ela consiste em realizar o controle do nível do tanque através do acionamento da bomba para enchê-lo. Nessa malha, são utilizados o tanque 1 e a bomba 1.

Dentro da subrotina, a primeira instrução é de segurança e realiza uma comparação do setpoint da malha de controle de nível: caso seu valor seja superior a 100, ele é reduzido para 20. O trecho do LADDER, é apresentado na Figura 17.

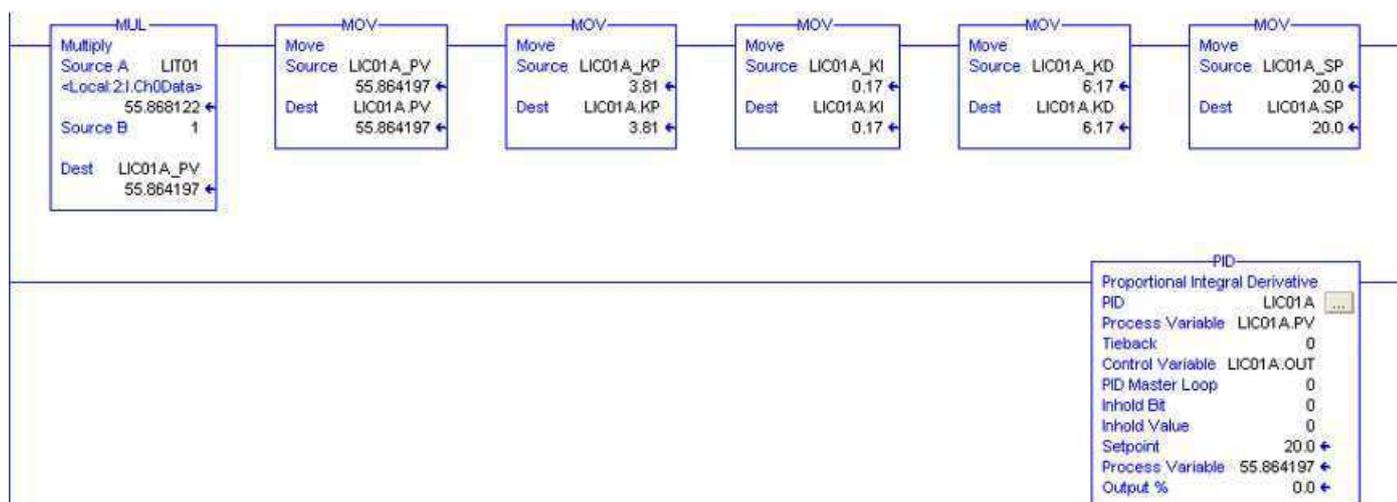
Em seguida, o valor armazenado na entrada analógica correspondente ao transmissor Smar do tanque 1 é multiplicado por 1. Essa informação é armazenada na tag LIC01A.PV, que guarda o valor atual do nível do tanque 1. A mesma linha de código é completada com a movimentação de dados necessária para

Figura 17 – Instrução de segurança para o setpoint.



montar o conjunto de dados do tipo LIC01A, responsável pela ação de controle (dados do controlador PID, PV e SP). Na linha seguinte, é utilizado o bloco do controlador PID com os ajustes apropriados. O trecho do LADDER, é apresentado na Figura 18.

Figura 18 – Ação de controle da malha LIC01A.



Por fim, o valor armazenado na tag da variável de controle (LIC01A.OUT) da lógica PID é transferido para a tag que define a velocidade de referência da bomba 1 (BBA01.VAL). Em outras palavras, essa subrotina utiliza a bomba para controlar o nível do tanque. A válvula de saída de água pode ser usada como uma perturbação. O trecho do LADDER, é apresentado na Figura 19.

Figura 19 – Acionamento da bomba 1 na malha LIC01A.



LIC01B

Essa malha é ativada se o sistema estiver em modo de operação automático e se **LIC01B.EN** estiver ativada. Ela consiste em realizar o controle do nível do tanque através do acionamento da válvula para esvazia-lo. Nessa malha, são utilizados o tanque 1 e a válvula 1.

Dentro da subrotina, todo o processo segue a mesma sequência descrita na subrotina LIC01A. A única diferença está na instrução final, que em vez de fornecer uma referência para a atuação da bomba, essa referência é agora utilizada para o controle da abertura da válvula, por meio da tag LCV01.VAL, apresentada na Figura 20. Ou seja, o nível do tanque não é mais controlado pela bomba, mas pela abertura e fechamento da válvula. A bomba pode ser usada como uma perturbação.

Figura 20 – Acionamento da válvula 1 na malha LIC01B.



LIC05

Essa malha é ativada se o sistema estiver em modo de operação automático e se **LIC05_EN** estiver ativada. Ela consiste em realizar o controle do nível do tanque através do acionamento da bomba para enchê-lo ou da válvula para esvaziá-lo. Nessa malha, são utilizados o tanque 3, a bomba 2 e a válvula 2.

Apresenta a mesma lógica de controle que as subrotinas anteriores. A escolha de quem controlará o nível do tanque depende da ativação da entrada LIC05_T, se ela estiver ativa, será utilizada a bomba 2; caso contrário, a válvula atuará para controlar o nível. A mudança em relação ao código das demais malhas é apresentada na Figura 21.

Figura 21 – Acionamento da bomba 2 ou da válvula 2 na malha LIC05.

