

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Paulo Ricardo Bueno Branquinho

**Desenvolvimento de um Sistema de Supervisão
e Controle de uma Esteira Separadora de Peças**

Uberlândia, Brasil

2025

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Paulo Ricardo Bueno Branquinho

**Desenvolvimento de um Sistema de Supervisão e
Controle de uma Esteira Separadora de Peças**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecatrônica.

Orientador: Prof. Msc. Werley Rocherter Borges Ferreira

Universidade Federal de Uberlândia – UFU

Faculdade de Engenharia Mecânica

Bacharelado em Engenharia Mecatrônica

Uberlândia, Brasil

2025

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

B821
2025 Branquinho, Paulo Ricardo Bueno, 1997-
Desenvolvimento de um Sistema de Supervisão e Controle de
uma Esteira Separadora de Peças [recurso eletrônico] / Paulo
Ricardo Bueno Branquinho. - 2025.

Orientador: Werley Rocherter Borges Ferreira.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade
Federal de Uberlândia, Graduação em Engenharia Mecatrônica.

Modo de acesso: Internet.

Inclui bibliografia.

1. Mecatrônica. I. Ferreira, Werley Rocherter Borges, 1985-,
(Orient.). II. Universidade Federal de Uberlândia. Graduação em
Engenharia Mecatrônica. III. Título.

CDU: 621.03

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:

Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091

Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074



Curso de Graduação em:	Engenharia Mecatrônica				
Defesa de:	FEMEC42100 - Projeto de Fim de Curso II				
Data:	30/09/2025	Hora de início:	15:30	Hora de encerramento:	15:20
Matrícula do Discente:	11511EMT004				
Nome do Discente:	Paulo Ricardo Bueno Branquinho				
Título do Trabalho:	Desenvolvimento de um Sistema de Supervisão e Controle de uma Esteira Separadora de Peças				
A carga horária curricular foi cumprida integralmente?	(x) Sim () Não				

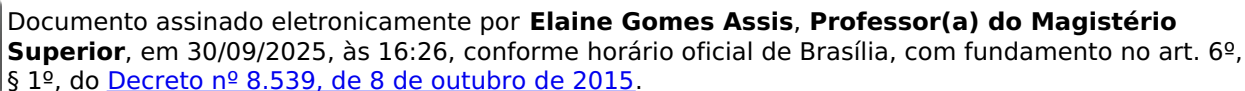
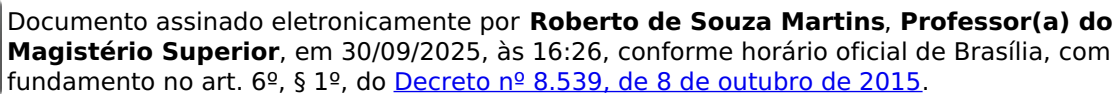
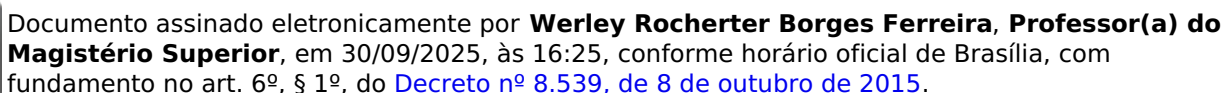
Reunio-se de forma remota, através da Plataforma Digital Microsoft Teams (https://teams.microsoft.com/l/meetup-join/19%3ameeting_NWQwNjM0MmYtMzBINy00YWQ4LWE5YWEtYTk3ZDBmMjNhNTZm%40thread.v2/0?context=%7b%22Tid%22%3a%22cd5e6d23-cb99-4189-88ab-1a9021a0c451%22%2c%22Oid%22%3a%2270613e34-f943-40b7-9db2-6cfbae301d5f%22%7d), a Banca Examinadora, designada pelo docente orientador, assim composta: Prof. Dr. Roberto de Souza Martins - FEMEC/UFU; Profa. Dra. Elaine Gomes Assis - FEMEC/UFU; e Prof. M.Sc. Werley Rocherter Borges Ferreira - FEMEC/UFU, orientador do candidato.

Iniciando os trabalhos, o presidente da mesa, Prof.M.Sc. Werley Rocherter Borges Ferreira, apresentou a Comissão Examinadora e o candidato, e concedeu ao estudante a palavra, para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do estudante e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do curso.

A seguir o(a) senhor(a) presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos(às) examinadores(as), que passaram a arguir o(a) candidato(a). Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando o(a) candidato(a):

Aprovado sem nota.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.





A autenticidade deste documento pode ser conferida no site

https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0,

informando o código verificador **6703714** e o código CRC **97244B3D**.

Referência: Processo nº 23117.066515/2025-27

SEI nº 6703714

Paulo Ricardo Bueno Branquinho

Desenvolvimento de um Sistema de Supervisão e Controle de uma Esteira Separadora de Peças

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecatrônica.

Banca examinadora:

**Prof. Msc. Werley Rocherter Borges
Ferreira**
Orientador

Prof. Dr. Roberto de Souza Martins
Membro da Banca

Prof. Dr^a. Elaine Gomes Assis
Membro da Banca

Uberlândia, Brasil
2025

Agradecimentos

Este Projeto de Fim de Curso simboliza o início do desfecho de uma longa e árdua caminhada. Estudar em uma universidade pública é uma experiência que transforma por completo — testa limites, desafia convicções e exige resiliência. Enfrentei inúmeros obstáculos ao longo do curso, muitos deles intensos e desgastantes. Em vários momentos, o caminho pareceu difícil demais. Mas sempre me firmei em uma certeza: desistir nunca foi uma opção.

Foi na UFU, inclusive, que construí grande parte dos sonhos que me motivam até hoje — sonhos que se entrelaçam diretamente com a conquista do diploma em Engenharia Mecatrônica. E é com muito esforço, dedicação e persistência que venho me aproximando do momento de tornar esse sonho realidade. Cada passo até aqui foi conquistado com luta, e é justamente por isso que essa reta final carrega tanto significado.

Agradeço primeiramente à Deus que me proporcionou a vida, as oportunidades e os caminhos que me trouxeram até aqui, e que mesmo quando fraquejei na fé, Ele se manteve ao meu lado me protegendo e me abençoando de todas as formas.

À minha avó Suleide, agradeço pelos conselhos, pela injeção de ânimo nos momentos difíceis e pelo amor incondicional, sem o seu porto seguro talvez eu não teria chegado até aqui.

Agradeço também a minha mãe Lenice que sempre foi uma presença forte na minha vida e que me ajudou de diversas formas a perseguir os meus sonhos e lutar por aquilo que eu queria.

Ao meu falecido avô Tunico eu agradeço pelo carinho, pela preocupação e pelo apoio durante grande parte da jornada, me conforta de alguma forma que ele esteja olhando por mim lá do céu e que de alguma forma esteja feliz por essa minha conquista.

Agradeço à toda a minha família que de diversas formas me apoiaram durante todo o caminho até aqui, ajudando com palavras de sabedoria, carinho, conselhos e até financeiramente. Sem vocês nada disso seria possível.

Por fim, agradeço ao professor Werley pela orientação, parceria e paciência, aos incríveis colegas de curso e amigos que fiz nessa jornada e a todos os incríveis professores que me tornaram mais do que só um aluno e sim um homem melhor.

Vamos! Rumo aos novos desafios que virão por aí.

"Só fazemos melhor aquilo que repetidamente insistimos em melhorar. A busca da excelência não deve ser um objetivo, e sim um hábito."

Aristóteles

Resumo

Atualmente, os sistemas automatizados evoluíram para soluções cada vez mais flexíveis, inteligentes e conectadas, nas quais o CLP desempenha papel central no controle dos processos. A programação desses controladores pode ser realizada em Ladder, linguagem de fácil interpretação que simula circuitos elétricos, ou em GRAFCET, ferramenta gráfica voltada à descrição de etapas sequenciais de operação. Para que os dados gerados nesses sistemas sejam integrados e disponibilizados em diferentes camadas da automação, utiliza-se o protocolo OPC, que garante a comunicação padronizada entre o CLP e softwares supervisórios, consolidando um ambiente de produção eficiente e interconectado.

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema de supervisão e controle aplicado a uma esteira separadora de peças. Para isso, foi adotado um Controlador Lógico Programável (CLP) comercial para reproduzir de forma prática e realista os cenários típicos do ambiente industrial, proporcionando uma abordagem didática ao projeto. A lógica de controle foi desenvolvida com o uso da linguagem Ladder e da metodologia GRAFCET, ambas essenciais para a modelagem e implementação de processos sequenciais. Este projeto também explora conceitos de Sistemas Supervisórios (SCADA) e comunicação via OPC, ressaltando a crescente importância da integração entre hardware e software como base para novas soluções na indústria.

Palavras-chave: Automação Industrial, CLP, SCADA, OPC, Separação de peças.

Abstract

Currently, automated systems have evolved into increasingly flexible, intelligent, and connected solutions, in which the PLC plays a central role in process control. Programming these controllers can be done in Ladder, a language that is easy to interpret and simulates electrical circuits, or in GRAFCET, a graphical tool designed to describe sequential stages of operation. To ensure that the data generated in these systems is integrated and made available across different automation layers, the OPC protocol is used, providing standardized communication between the PLC and supervisory software, thus consolidating an efficient and interconnected production environment.

This work presents the development of a supervision and control system applied to a parts sorting conveyor. For this purpose, a commercial Programmable Logic Controller (PLC) was adopted to practically and realistically reproduce typical industrial environment scenarios, providing a didactic approach to the project. The control logic was developed using the Ladder language and the GRAFCET methodology, both essential for modeling and implementing sequential processes. This project also explores concepts of Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) systems and OPC communication, highlighting the growing importance of hardware and software integration as the foundation for new industrial solutions.

Keywords: Industrial Automation, PLC, SCADA, OPC, Parts Sorting.

Lista de ilustrações

Figura 1 – CLP modelo Modicon M340 fabricado pela Schneider Electric. Fonte: (SCHNEIDER, 2014).	17
Figura 2 – Simbologia comum para programação em linguagem Ladder. Fonte: (EEEP, 2015).	18
Figura 3 – GRAFCET para ligar e desligar uma lâmpada utilizando-se uma botoeira. Fonte: (MAITELLI, 2005).	19
Figura 4 – Configuração completa do CLP Modicon M340. Fonte: Autoria própria.	25
Figura 5 – Bancada separadora de peças XC243. Fonte: (EXSTO, 2023).	26
Figura 6 – Software Unity Pro XL da Schneider Electric. Fonte: Autoria própria. .	27
Figura 7 – Software EcoStruxure OPC UA Server Expert da Schneider Electric. Fonte: Autoria própria.	27
Figura 8 – Software Elipse E3 Studio. Fonte: Autoria própria.	28
Figura 9 – Sensores ópticos posicionados com alturas diferentes: F1 (Sensor de peças pequenas), F2 (Sensor de peças médias) e F3 (Sensor de peças grandes). Fonte: Autoria própria.	29
Figura 10 – Montagem dos sensores. Sensor Capacitivo (VERDE) e Sensor Indutivo (AZUL). Fonte: Autoria própria.	29
Figura 11 – Lógica em Ladder para separação de peças não metálicas. Fonte: Autoria própria.	30
Figura 12 – Lógica em Ladder para separação de peças metálicas. Fonte: Autoria própria.	31
Figura 13 – Criando o Driver de Comunicação OPC UA no Elipse E3. Fonte: Autoria própria.	34
Figura 14 – Configuração do Driver de Comunicação OPC UA no Elipse E3. Fonte: Autoria própria.	34
Figura 15 – Importando tags usando o Driver OPC UA no Elipse E3. Fonte: Autoria própria.	35
Figura 16 – Relação de tags utilizadas no desenvolvimento do sistema supervisório (SCADA). Fonte: Autoria própria.	35
Figura 17 – Sistema supervisório para esteira separadora de peças. Adaptado de: (CAVALCANTE, 2021)	36
Figura 18 – Iniciando um novo projeto no <i>Unity Pro XL</i> . Fonte: Autoria própria. .	48
Figura 19 – Selecionando o modelo do CLP. Fonte: Autoria própria.	48
Figura 20 – Configurando o PLC bus. Fonte: Autoria própria.	49
Figura 21 – Alterando a versão de processamento. Fonte: Autoria própria.	49
Figura 22 – Criando comunicação Computador/CLP. Fonte: Autoria própria. . . .	50

Figura 23 – Inserindo comunicação Ethernet. Fonte: Autoria própria.	50
Figura 24 – Configurando comunicação com a CPU. Fonte: Autoria própria.	51
Figura 25 – Configuração da comunicação do CLP. Fonte: Autoria própria.	52
Figura 26 – Iniciando seção de início de programação. Fonte: Autoria própria.	52
Figura 27 – Configuração inicial do servidor OPC UA no <i>EcoStruxure OPC UA Server Expert Configuration Tool</i> . Fonte: Autoria própria.	69
Figura 28 – Configuração de Segurança do servidor OPC UA no <i>EcoStruxure OPC UA Server Expert Configuration Tool</i> . Fonte: Autoria própria.	70
Figura 29 – Configuração de Conexão do servidor OPC UA no <i>EcoStruxure OPC UA Server Expert Configuration Tool</i> . Fonte: Autoria própria.	70
Figura 30 – Conexão do servidor OPC UA com o CLP. Fonte: Autoria própria.	71

Lista de abreviaturas e siglas

CLP	Controlador Lógico Programável
COM	Component Object Model
CPU	Central Processing Unit (Unidade Central de Processamento do CLP)
CPS	Cyber-Physical Systems (Sistemas Ciberfísicos)
DCOM	Distributed Component Object Model
ERP	Enterprise Resource Planning (Planejamento dos Recursos da Empresa)
GRAFCET	Graphe Fonctionnel de Commande Étape/Transition
HMI	Human Machine Interface (Interface Homem-Máquina)
IEC	International Electrotechnical Commission
IIoT	Industrial Internet of Things (Internet das Coisas Industrial)
IP	Internet Protocol (Protocolo de Internet)
M340	Modelo de CLP da Schneider Electric (Modicon M340)
MES	Manufacturing Execution System (Sistema de Execução da Manufatura)
NOE	Network Option Ethernet (Módulo de Comunicação Ethernet)
OPC UA	Open Platform Communications Unified Architecture
PLC	Programmable Logic Controller
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition
SFC	Sequential Function Chart
SOA	Service-Oriented Architecture (Arquitetura Orientada a Serviços)
TCP	Transmission Control Protocol (Protocolo de Controle de Transmissão)

Sumário

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Objetivos	13
1.1.1	Objetivo geral	13
1.1.2	Objetivo específico	13
1.2	Organização do Trabalho	13
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1	Automação Industrial	15
2.2	Controladores Lógicos Programáveis (CLPs)	16
2.3	Linguagem Ladder e Metodologia GRAFCET	17
2.3.1	Linguagem Ladder	17
2.3.2	Metodologia GRAFCET	19
2.4	Sistemas Supervisórios (SCADA)	20
2.4.1	Principais funcionalidades e recursos	20
2.4.2	Benefícios da utilização em processos produtivos	21
2.5	Protocolos de Comunicação na Automação Industrial	22
2.5.1	Padrão OPC (<i>Open Platform Communications</i>)	22
3	SISTEMA DE SUPERVISÃO E CONTROLE DE UMA ESTEIRA SEPARADORA DE PEÇAS	24
3.1	Equipamentos, Softwares e Materiais utilizados	24
3.1.1	Equipamentos	24
3.1.2	Softwares	26
3.1.3	Materiais	28
3.2	Configuração inicial do CLP Modicon M340	28
3.3	Programação do CLP em Ladder	29
3.4	Metodologia GRACET	32
3.5	Criação de um servidor OPC UA	32
3.5.1	Configuração do Servidor OPC UA	33
3.5.2	Teste de Conexão com o Servidor OPC UA	33
3.6	Cliente OPC UA no Elipse E3	33
3.6.1	Configurando um Cliente OPC UA no Elipse E3	33
3.7	Sistema supervisório para esteira separadora	35
3.7.1	Área de Início do Processo	36
3.7.2	Indicadores de Detecção de Peças	36
3.7.3	Atuadores Pneumáticos e Sensores de Posição	37

3.7.4	Painel de Seleção de Tipo de Peça	37
3.7.5	Displays de Contagem	38
3.7.6	Função de Reset de Contagem	38
3.8	Considerações Finais	39
4	RESULTADOS	40
4.1	Desempenho do sistema	40
4.2	Integração hardware/software	40
4.3	Análise crítica sobre o protocolo OPC UA	41
4.4	Considerações Finais	42
5	CONCLUSÃO	43
5.1	Trabalhos Futuros	44
	REFERÊNCIAS	45
	APÊNDICES	47
	APÊNDICE A – CONFIGURAÇÃO DO CLP MODICON M340 NO UNITY PRO XL	48
	APÊNDICE B – GRAFCET (SFC)	54
	APÊNDICE C – LADDER EMBARCADO NO CLP	65
	APÊNDICE D – CONFIGURAÇÃO DO SERVIDOR OPC UA	69
	APÊNDICE E – TESTE DE CONEXÃO CLP/SERVIDOR OPC UA	71

1 Introdução

A separação de objetos por suas características como tamanho, formato e material é uma etapa fundamental em diversas linhas de produção, desde a manufatura de componentes eletrônicos até a reciclagem de resíduos. A ausência de um sistema automatizado para essa tarefa pode levar a perdas significativas de tempo, aumento de custos operacionais e comprometimento da qualidade do produto final.

Nesse contexto, este trabalho implementa um sistema de supervisão e controle aplicado a uma esteira transportadora desenvolvida para a separação de peças. O sistema foi projetado para identificar e separar objetos de diferentes dimensões (pequeno, médio e grande) e composições (plástico e metal) de forma autônoma. Para a identificação das peças, são utilizados sensores ópticos para determinar a altura, um sensor indutivo para detectar a presença de metal e um sensor capacitivo que detecta qualquer objeto, garantindo a ordem desejada de classificação dos objetos.

O processamento de dados e a lógica de controle são centralizados em um Controlador Lógico Programável (CLP), especificamente o modelo Schneider Modicon M340¹. Este CLP recebe informações dos sensores, e de acordo com a sua programação, envia comandos para os atuadores responsáveis pela separação das peças.

Para garantir o monitoramento remoto e a aquisição de dados em tempo real, o sistema conta com um software SCADA (Supervisão, Controle e Aquisição de Dados) o Elipse E3². O sistema supervisório desenvolvido oferece uma interface gráfica que permite a visualização detalhada do processo, a classificação da separação das peças e o diagnóstico de possíveis falhas, proporcionando maior controle e segurança operacional. A comunicação entre o CLP e o sistema SCADA é realizada por meio do protocolo OPC UA (*Open Platform Communications Unified Architecture*). A escolha do OPC UA se justifica por seus benefícios, como interoperabilidade entre dispositivos de diferentes fabricantes, robustos recursos de segurança e um modelo de dados hierárquico, que facilita a troca de informações de maneira eficiente e confiável.

Dessa forma, este trabalho demonstra a viabilidade da implementação de uma solução de automação industrial que integra hardware e software, resultando em um sistema de separação de peças inteligente, eficiente e de fácil supervisão, o que evidencia a importância da integração de tecnologias como CLP, SCADA e protocolos de comunicação modernos no desenvolvimento de novas soluções.

¹ <<https://www.se.com/br/pt>>

² <<https://www.elipse.com.br>>

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo deste trabalho é desenvolver um sistema de supervisão e controle aplicado a uma esteira separadora de peças. Para isso, foi empregado um CLP comercial, com a finalidade de reproduzir, de maneira prática e realista, cenários típicos do ambiente fabril.

1.1.2 Objetivo específico

- Implementar a lógica de controle da esteira separadora de peças utilizando a linguagem Ladder, com exploração de seus recursos aplicados a processos industriais.
- Modelar a sequência de operação do sistema com base na metodologia GRAFCET, de modo a favorecer a clareza na definição de etapas e transições.
- Desenvolver a comunicação entre o CLP e o sistema supervisor por meio do protocolo OPC, com garantia de troca de dados em tempo real.
- Configurar e explorar um sistema supervisor para monitorar e controlar a separação das peças, com fornecimento de visualização gráfica e interação com o processo.
- Avaliar a contribuição do sistema proposto como recurso didático para o ensino de automação industrial e para a contextualização de aplicações na indústria.

1.2 Organização do Trabalho

Os outros capítulos deste trabalho estão organizados da seguinte forma:

- **Capítulo 2 — Revisão Bibliográfica:** apresenta a fundamentação teórica necessária para o desenvolvimento do sistema de supervisão e controle proposto. Inicialmente, são abordados os conceitos de automação industrial e a evolução tecnológica que conduziu ao uso de Controladores Lógicos Programáveis (CLPs) como elementos centrais de controle. Em seguida, discute-se a linguagem Ladder e a metodologia GRAFCET, ressaltando sua importância na modelagem e implementação de processos sequenciais. Também são explorados os princípios dos Sistemas Supervisórios e do protocolo de comunicação OPC, enfatizando sua função na integração entre dispositivos de campo e plataformas de supervisão.

- **Capítulo 3 — Sistema de Supervisão e Controle de uma Esteira Separadora de Peças:** descreve cada um dos passos percorridos para programar, conectar e integrar os diferentes softwares com o hardware da bancada de separação de peças para conseguir atingir o objetivo do correto funcionamento do sistema.
- **Capítulo 4 — Resultados:** analisa o desempenho do sistema e sua integração software/hardware, delibera sobre a técnica utilizada para comunicação analisando pontos positivos e negativos de acordo com a interoperabilidade, facilidade de uso e aplicação.
- **Capítulo 5 — Conclusão:** resume os resultados encontrados e as análises feitas, assim como levanta pontos a serem aprimorados em trabalhos futuros.

2 Revisão Bibliográfica

2.1 Automação Industrial

A automação industrial tem suas raízes na Revolução Industrial, quando o desenvolvimento de máquinas a vapor e a mecanização da produção iniciaram a substituição do trabalho manual por processos mecanizados. Na primeira metade do século XX, a introdução de sistemas eletromecânicos, como os relés e os controladores sequenciais, permitiu maior controle e precisão nas linhas de produção ([GROOVER, 2015](#)).

A partir da década de 1960, a automação passou a incorporar a eletrônica e a computação, dando origem aos primeiros Controladores Lógicos Programáveis (CLPs), que possibilitaram flexibilidade e reprogramação em processos industriais complexos. Atualmente, a automação industrial integra tecnologias avançadas, como robótica, sistemas ciber-físicos e Internet das Coisas Industrial (IIoT), promovendo operações cada vez mais inteligentes e conectadas ([ALCÁNTARA J.; SANTOS, 2021](#)).

A introdução da automação trouxe impactos significativos nos processos produtivos, incluindo aumento da produtividade, padronização da qualidade e redução de erros humanos. Processos antes lentos e repetitivos passaram a ser executados de forma contínua e precisa, permitindo a produção em larga escala ([CHIABRANDO V.; PEREIRA, 2020](#)). Além disso, a automação contribuiu para a segurança no ambiente industrial, ao substituir operadores em tarefas perigosas ou exaustivas. Outro impacto relevante é a possibilidade de monitoramento em tempo real, que permite ajustes imediatos nos processos e manutenção preditiva, minimizando paradas e perdas na produção.

Atualmente, a automação industrial enfrenta tendências de convergência tecnológica, como a integração de sistemas ciber-físicos (CPS), inteligência artificial, machine learning e análise de big data. O conceito de Indústria 4.0 busca criar fábricas inteligentes, capazes de se adaptar automaticamente a mudanças na demanda e otimizar recursos de forma autônoma. Entre os desafios contemporâneos, destacam-se a necessidade de capacitação de profissionais para lidar com tecnologias avançadas, a segurança cibernética, a interoperabilidade entre diferentes sistemas e a sustentabilidade dos processos automatizados. Empresas que conseguirem superar esses desafios poderão alcançar maior competitividade, eficiência e inovação em suas operações ([LIMA P.; MORAES, 2022](#)).

2.2 Controladores Lógicos Programáveis (CLPs)

Os Controladores Lógicos Programáveis (CLPs) constituem dispositivos eletrônicos digitais desenvolvidos com o objetivo de automatizar e controlar processos industriais de forma eficiente e segura. Eles foram concebidos como uma alternativa moderna aos antigos sistemas de controle baseados em relés eletromecânicos, que exigiam grande quantidade de cabeamento, manutenção constante e apresentavam pouca flexibilidade para alterações na lógica de operação.

A principal vantagem dos CLPs está em sua programabilidade, permitindo que os usuários configurem lógicas de controle de acordo com as necessidades específicas de cada processo, desde operações simples até sistemas complexos que envolvem múltiplas variáveis. Além disso, são equipamentos confiáveis e robustos, projetados para suportar as condições adversas encontradas em ambientes industriais, como vibração, variações de temperatura, ruído elétrico e altos níveis de umidade ou poeira ([OBELE et al., 2024](#)).

Esses controladores destacam-se por sua flexibilidade e versatilidade, possibilitando rápida adaptação a mudanças na linha de produção, bem como a expansão de suas funções por meio de módulos adicionais de entradas e saídas digitais ou analógicas, comunicação industrial e até mesmo recursos de segurança. Entre suas características mais relevantes estão a capacidade de operar em tempo real, garantindo respostas imediatas aos sinais recebidos; a modularidade, que facilita a adequação a diferentes aplicações; a tolerância a falhas, assegurando maior continuidade operacional; e a facilidade de integração com outros sistemas de automação, como softwares de supervisão e aquisição de dados (SCADA), interfaces homem-máquina (IHMs) e redes industriais ([GARCIA, 2018](#)).

Graças a essas qualidades, os CLPs tornaram-se elementos essenciais no contexto da automação industrial moderna, sendo amplamente utilizados em setores como manufatura, petroquímica, siderurgia, alimentos e bebidas, logística, energia, entre muitos outros.



Figura 1 – CLP modelo Modicon M340 fabricado pela Schneider Electric. Fonte: (SCHNEIDER, 2014).

2.3 Linguagem Ladder e Metodologia GRAFCET

A Linguagem Ladder e a metodologia GRAFCET são ferramentas amplamente utilizadas na automação industrial para o desenvolvimento e organização de sistemas de controle. O Ladder, inspirado nos diagramas de relés eletromecânicos, é uma linguagem gráfica de programação de CLPs (Controladores Lógicos Programáveis), caracterizada pela clareza visual e facilidade de implementação lógica em processos industriais. Já o GRAFCET (*Grphe Fonctionnel de Commande Étape/Transition*) é uma metodologia de modelagem que descreve o comportamento sequencial de um sistema, estruturando-o em etapas e transições, o que facilita a análise, documentação e validação das sequências de comando.

A integração entre eles ocorre de forma natural: o GRAFCET serve como base de projeto e documentação, definindo a lógica sequencial do processo, enquanto o Ladder traduz essa lógica em código executável no CLP. Assim, o GRAFCET fornece a visão conceitual e sistemática, e o Ladder garante a implementação prática, resultando em sistemas de controle mais organizados, padronizados e fáceis de manter.

2.3.1 Linguagem Ladder

A Linguagem Ladder, também conhecida como diagrama de contatos, surgiu a partir da necessidade de substituir sistemas de controle baseados em relés eletromecânicos por soluções digitais mais flexíveis e confiáveis. Seu formato gráfico foi inspirado nos antigos esquemas elétricos de painéis de comando, o que facilitou a transição dos técnicos

e engenheiros da área elétrica para a programação de Controladores Lógicos Programáveis (CLPs). O principal fundamento do Ladder é representar graficamente a lógica de controle em forma de “escada”, composta por trilhos laterais e *rungs* (degraus), que contêm os elementos lógicos e dispositivos de saída (MORAES A. S.; MARTINS, 2015).

A linguagem Ladder utiliza símbolos padronizados que representam os dispositivos de entrada, processamento lógico e saída do sistema. Entre os principais elementos estão:

- **Contatos abertos e fechados**, que simulam sensores ou condições lógicas;
- **Bobinas**, representando atuadores como motores, válvulas ou sinalizações;
- **Temporizadores e contadores**, utilizados para operações que envolvem tempo e quantificação;
- **Blocos funcionais**, que ampliam as possibilidades de controle com operações matemáticas, comparadores e instruções especiais.

Essa simbologia padronizada garante facilidade de leitura, permitindo que profissionais com experiência em elétrica possam interpretar e modificar programas de CLP de forma intuitiva.




Nomeclatura	Abreviação	Símbolo
Contato Normalmente Aberto	NA	
Contato Normalmente Fechado	NF	
Bobina ou Saída	—	

Figura 2 – Simbologia comum para programação em linguagem Ladder. Fonte: (EEEP, 2015).

O Ladder é amplamente utilizado em processos industriais que exigem **controle discreto** e **operações sequenciais**. Exemplos comuns incluem:

- Sistemas de **esteiras transportadoras**, onde sensores detectam peças e atuadores direcionam o fluxo;
- **Controle de máquinas de envase e embalagem**, coordenando sensores de nível, válvulas e motores;
- **Automação predial e utilidades industriais**, como iluminação, bombas d’água e sistemas de ventilação.

Essas aplicações demonstram a versatilidade do Ladder, que se consolidou como uma das linguagens mais utilizadas na programação de CLPs em todo o mundo.

2.3.2 Metodologia GRAFCET

O GRAFCET é uma metodologia de modelagem desenvolvida na França com o objetivo de representar e estruturar o comportamento sequencial de sistemas automatizados.

Seu princípio fundamental é dividir um processo em etapas (estados) e transições (condições de passagem entre estados), o que possibilita a descrição clara da lógica de controle, independentemente da linguagem de programação a ser utilizada na implementação. A sua aplicação em alguns softwares de programação de CLPs pode ser identificada pela sigla SFC (*Sequential Function Chart*), em português, Gráfico de Funções Sequenciais (IEC, 2013).

Na modelagem com GRAFCET, os elementos fundamentais são as etapas (blocos), que indicam estados do sistema em que determinadas ações estão ativas; as transições, que possibilitam a evolução entre etapas; e as receptividades, funções lógicas que validam as transições a partir de sinais do processo, como sensores ou comandos manuais. Essas conexões são representadas por arcos orientados, que organizam graficamente o sentido da sequência. As ações associadas às etapas podem ser contínuas, condicionais, temporizadas ou limitadas no tempo, permitindo representar tanto operações simples quanto complexas (MAITELLI, 2005).

A estrutura do GRAFCET pode assumir diferentes formas, como a sequência linear, a seleção de sequências ou o paralelismo, possibilitando modelar processos desde os mais básicos até os mais sofisticados. Assim, o método se mostra essencial para projetar, analisar e comunicar sistemas de automação de maneira padronizada, reduzindo falhas e garantindo maior clareza no desenvolvimento de projetos.

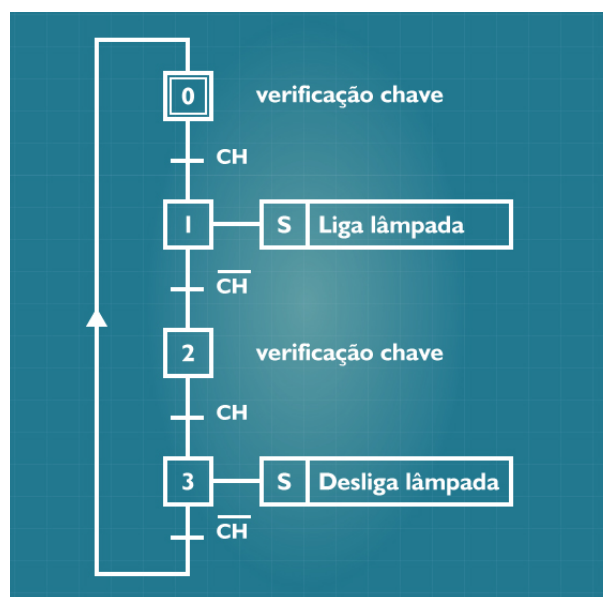


Figura 3 – GRAFCET para ligar e desligar uma lâmpada utilizando-se uma botoeira.
Fonte: (MAITELLI, 2005).

Embora sejam diferentes em sua natureza, o GRAFCET e o Ladder se complementam de maneira eficaz. O GRAFCET é utilizado como ferramenta de projeto e documentação, proporcionando uma visão abstrata e organizada do processo, enquanto o Ladder é a linguagem de programação prática, responsável por transformar essa lógica em instruções executáveis pelo CLP ([MAITELLI, 2005](#)).

Essa integração traz benefícios significativos, como:

- **Maior clareza na comunicação entre equipes de projeto, manutenção e operação;**
- **Redução de erros de programação**, uma vez que a lógica já foi previamente validada no modelo GRAFCET;
- **Agilidade na manutenção**, pois a equipe pode recorrer ao diagrama GRAFCET para entender a sequência, e ao Ladder para verificar a implementação prática.

Dessa forma, a utilização combinada de GRAFCET e Ladder garante processos de automação industrial mais bem estruturados, confiáveis e de fácil manutenção.

2.4 Sistemas Supervisórios (SCADA)

Os Sistemas Supervisórios, também conhecidos pela sigla SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), representam uma das principais ferramentas tecnológicas aplicadas à automação industrial moderna. Trata-se de sistemas computacionais que permitem monitorar, controlar e supervisionar processos industriais em tempo real, integrando dados provenientes de sensores, controladores lógicos programáveis (CLPs) e outros dispositivos de campo.

O papel fundamental de um sistema SCADA no ambiente industrial é fornecer uma visão centralizada e organizada dos processos produtivos, possibilitando ao operador ou gestor acompanhar o funcionamento das máquinas e linhas de produção, identificar falhas rapidamente e, quando necessário, atuar de forma imediata para corrigir anomalias ([PEREIRA, 2017](#)). Dessa forma, o SCADA atua como um elo entre o chão de fábrica e os níveis gerenciais, auxiliando não apenas no controle operacional, mas também no planejamento e na tomada de decisão estratégica.

2.4.1 Principais funcionalidades e recursos

Os sistemas SCADA oferecem um conjunto abrangente de funcionalidades que os tornam essenciais no ambiente industrial ([SILVA, 2019](#)). Entre as principais, destacam-se:

- **Aquisição de dados em tempo real:** coleta contínua de variáveis de processo, como pressão, temperatura, vazão, velocidade e consumo energético.
- **Monitoramento remoto:** visualização do processo produtivo a partir de telas gráficas, que representam de forma amigável os dispositivos e etapas do sistema..
- **Controle de processos:** possibilidade de enviar comandos aos equipamentos de campo, como abrir ou fechar válvulas, ligar motores ou ajustar parâmetros.
- **Armazenamento histórico:** registro e arquivamento dos dados para análises posteriores, facilitando a rastreabilidade e a melhoria contínua.
- **Geração de alarmes e eventos:** emissão de alertas em tempo real diante de falhas, limites ultrapassados ou situações anormais.
- **Relatórios gerenciais:** emissão de indicadores de desempenho e relatórios customizados, fornecendo suporte para auditorias e análises estratégicas.

Esses recursos tornam o SCADA não apenas uma ferramenta de supervisão, mas também um sistema de apoio à decisão, já que disponibiliza informações detalhadas e confiáveis sobre o desempenho dos processos.

2.4.2 Benefícios da utilização em processos produtivos

A adoção de sistemas SCADA em processos produtivos proporciona uma série de benefícios que impactam de forma significativa a eficiência operacional e a competitividade das organizações. Um dos principais ganhos está relacionado ao aumento da produtividade, já que o monitoramento contínuo e a rápida detecção de falhas reduzem paradas não planejadas e otimizam o desempenho das linhas de produção. Além disso, a utilização do SCADA contribui para a redução de custos operacionais, uma vez que o controle automatizado permite minimizar desperdícios de materiais e promover maior eficiência energética, fatores essenciais para a sustentabilidade industrial (PEREIRA, 2017).

Outro aspecto relevante é a melhoria da qualidade do produto final, alcançada por meio do controle preciso das variáveis de processo, garantindo uniformidade e conformidade com padrões estabelecidos. O sistema também desempenha papel fundamental na segurança operacional, pois possibilita a identificação de situações críticas em tempo real e a emissão de alarmes, evitando falhas graves e reduzindo riscos de acidentes.

Do ponto de vista gerencial, os relatórios e históricos gerados pelo SCADA oferecem informações estratégicas que subsidiam decisões mais assertivas e favorecem a melhoria contínua dos processos. Além disso, trata-se de uma tecnologia flexível e escalável, capaz de se adaptar à expansão das plantas produtivas e às novas demandas da Indústria 4.0. Dessa forma, os sistemas SCADA consolidam-se como instrumentos indispensáveis para

empresas que buscam aliar eficiência, qualidade e segurança em seus processos produtivos (BOLTON, 2015).

2.5 Protocolos de Comunicação na Automação Industrial

A automação industrial evoluiu significativamente nas últimas décadas, impulsionada pela crescente necessidade de eficiência, flexibilidade e integração entre diferentes equipamentos e sistemas produtivos. Um dos elementos centrais desse avanço é a comunicação entre dispositivos, possibilitada pelos protocolos de comunicação industrial. Esses protocolos estabelecem regras e padrões que permitem a troca de informações entre sensores, atuadores, controladores lógicos programáveis (CLPs), sistemas supervisórios (SCADA) e sistemas de gestão corporativa (MES/ERP) (SILVA R. L.; CUNHA, 2022).

A padronização da comunicação é fundamental para garantir a interoperabilidade entre equipamentos de diferentes fabricantes, reduzir custos de integração e aumentar a confiabilidade das operações industriais. Entre os principais padrões utilizados destaca-se o OPC (*Open Platform Communications*), que evoluiu para o OPC UA (*Unified Architecture*).

2.5.1 Padrão OPC (*Open Platform Communications*)

O padrão OPC (Open Platform Communications) surgiu na década de 1990 com o objetivo de proporcionar interoperabilidade entre sistemas de automação industrial. A proposta era criar uma camada de abstração que possibilitasse a comunicação entre dispositivos de diferentes fabricantes sem a necessidade de protocolos proprietários, que dificultavam a integração de sistemas (OPC, 2010b).

O OPC Clássico foi baseado na tecnologia COM/DCOM (Component Object Model/Distributed Component Object Model) da Microsoft. Essa estrutura permitia a comunicação entre servidores e clientes OPC, onde o servidor era responsável por coletar dados de dispositivos de campo e disponibilizá-los para os clientes, como sistemas SCADA, MES ou softwares de supervisão (BEHR R.; FRANK, 2010).

O funcionamento do OPC Clássico estava centrado na leitura e escrita de variáveis de processo em tempo real, permitindo que softwares de diferentes fornecedores trocassem informações de maneira padronizada. Apesar da relevância, a dependência da tecnologia COM/DCOM limitava a flexibilidade, interoperabilidade e segurança, além de restringir sua aplicação a ambientes Windows.

A necessidade de maior escalabilidade, segurança e independência de plataformas levou ao desenvolvimento do OPC UA (Unified Architecture), lançado oficialmente em 2006. Diferente do OPC Clássico, o OPC UA é multiplataforma, baseado em serviços

orientados a objetos e arquitetura orientada a serviços (SOA), o que permite sua execução em diversos sistemas operacionais, incluindo Windows, Linux e sistemas embarcados.

O OPC UA não apenas transmite dados de processo, mas também possibilita a modelagem semântica das informações, garantindo que os dados sejam compreendidos de forma padronizada por diferentes aplicações. Além disso, a arquitetura suporta comunicação em tempo real e integração com sistemas de nível corporativo, como ERP e soluções baseadas em nuvem, alinhando-se aos conceitos da Indústria 4.0 e do IIoT (Industrial Internet of Things) (OPC, 2010a).

O OPC UA trouxe avanços significativos em termos de segurança. Ele incorpora mecanismos nativos de criptografia, autenticação de usuários, controle de acesso e integridade de dados, elementos essenciais para o contexto atual, em que sistemas industriais estão cada vez mais conectados a redes externas.

A interoperabilidade é outro aspecto central do padrão. Através da utilização de modelos de informação padronizados, diferentes sistemas e dispositivos podem compartilhar dados de maneira consistente e confiável, independentemente do fabricante ou da tecnologia utilizada (BEHR R.; FRANK, 2010).

Na prática, o OPC UA é amplamente aplicado em cenários industriais modernos, como integração entre CLPs e sistemas SCADA, monitoramento remoto de ativos, conexão entre o chão de fábrica e plataformas de análise em nuvem, além de aplicações em manutenção preditiva e otimização de processos. Dessa forma, o protocolo se consolida como uma tecnologia essencial para a transformação digital da indústria e para a adoção de conceitos de fábricas inteligentes (OPC, 2010a).

3 Sistema de Supervisão e Controle de uma Esteira Separadora de Peças

Este capítulo expõe a metodologia utilizada para o desenvolvimento deste trabalho, que visa desenvolver um sistema de supervisão e controle aplicado a uma esteira separadora de peças, tendo em mente uma aplicação mais didática para aplicações de conceitos de Automação Industrial.

3.1 Equipamentos, Softwares e Materiais utilizados

3.1.1 Equipamentos

Para o desenvolvimento do projeto foi utilizado o Controlador Lógico Programável (CLP) Modicon M340, da fabricante Schneider Electric, reconhecido por sua confiabilidade, robustez e capacidade de atender aplicações industriais de médio porte ([SCHNEIDER, 2014](#)). Esse CLP foi configurado com os seguintes módulos:

- **BMX CPS 2000:** módulo de alimentação responsável por fornecer energia para a CPU e demais módulos do rack, garantindo estabilidade elétrica no funcionamento do sistema.
- **BMX P34 2020:** unidade central de processamento (CPU) que executa o programa do usuário e gerencia a comunicação entre os módulos, permitindo a execução das lógicas de controle de forma rápida e confiável.
- **BMX NOE 0100.2:** módulo de comunicação Ethernet que possibilita a integração do CLP a redes industriais, permitindo a troca de dados com supervisórios, servidores OPC e outros dispositivos conectados à mesma infraestrutura.
- **BMX EIA 0100:** módulo de comunicação serial que permite ao CLP interagir com dispositivos que utilizam protocolos seriais padrão (RS-232/RS-485).
- **BMX DDI 1602:** módulo de entradas digitais com 16 canais, utilizado para aquisição de sinais provenientes de sensores e dispositivos de campo.
- **BMX DDO 1602:** módulo de saídas digitais com 16 canais, responsável por comandar atuadores como válvulas e motores a partir da lógica de controle definida no programa.

- **BMX AMM 0600:** módulo de entradas e saídas analógicas que permite a leitura de sinais contínuos, como sensores de posição e temperatura, e a geração de sinais de controle analógicos, ampliando as possibilidades de automação.



(a) CLP Real

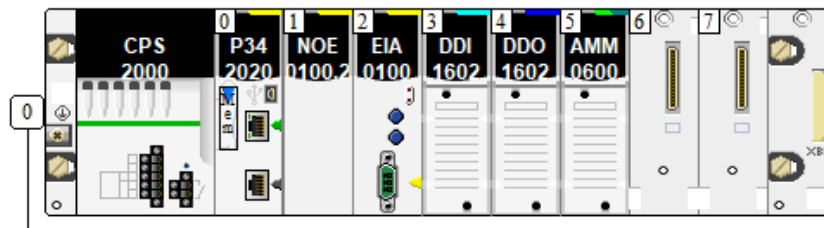
(b) CLP Virtual (*Unity Pro XL*)

Figura 4 – Configuração completa do CLP Modicon M340. Fonte: Autoria própria.

Além do CLP, foi utilizada a Bancada de Ensaio para Processo de Manufatura XC243, fornecida pela Exsto Tecnologia. Essa bancada didática é projetada para simular processos industriais reais de separação e manipulação de peças. Ela integra sensores indutivos e ópticos, que realizam a detecção de presença e identificação de materiais, além de atuadores pneumáticos e motores elétricos que realizam movimentos de transporte e separação. A bancada também conta com botões de comando, sinalizadores luminosos e interfaces de operação que permitem a interação direta do usuário com o processo, possibilitando a realização de experimentos práticos em controle discreto e contínuo (EXSTO, 2023).



Figura 5 – Bancada separadora de peças XC243. Fonte: ([EXSTO, 2023](#)).

3.1.2 Softwares

Para programação, supervisão e comunicação dos sistemas automatizados foram utilizados diferentes softwares, descritos a seguir:

- **Unity Pro XL:** software de programação da Schneider Electric utilizado para desenvolver, testar e colocar em operação os programas de controle nos CLPs da linha Modicon. Embora a versão mais atualizada seja denominada EcoStruxure Control Expert, optou-se pela utilização do Unity Pro XL por questões de licença, visto que a universidade possui acesso apenas a esta versão mais antiga. Apesar disso, o software contempla todas as funcionalidades necessárias para a realização do projeto, como programação em linguagens normatizadas pela IEC 61131-3, simulação e diagnóstico de programas ([SCHNEIDER, 2024a](#)).

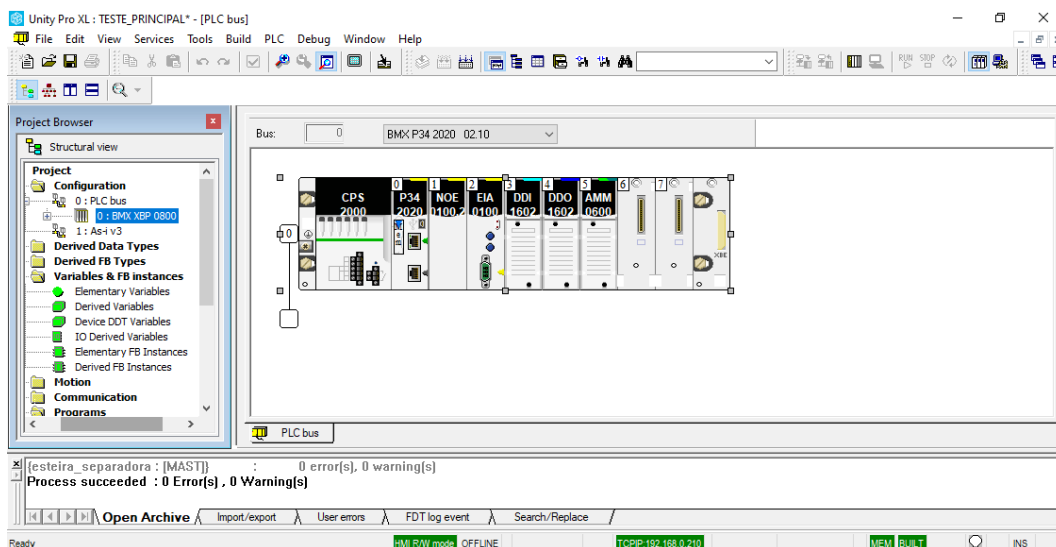


Figura 6 – Software Unity Pro XL da Schneider Electric. Fonte: Autoria própria.

- **EcoStruxure OPC UA Server Expert:** software utilizado para a criação de servidores OPC UA (*Open Platform Communications Unified Architecture*), permitindo que o CLP compartilhe seus dados em tempo real com diferentes clientes supervisórios. Sua principal função no projeto foi viabilizar a integração entre o CLP Modicon M340 e o software de supervisão, garantindo interoperabilidade em ambiente industrial (SCHNEIDER, 2024b).

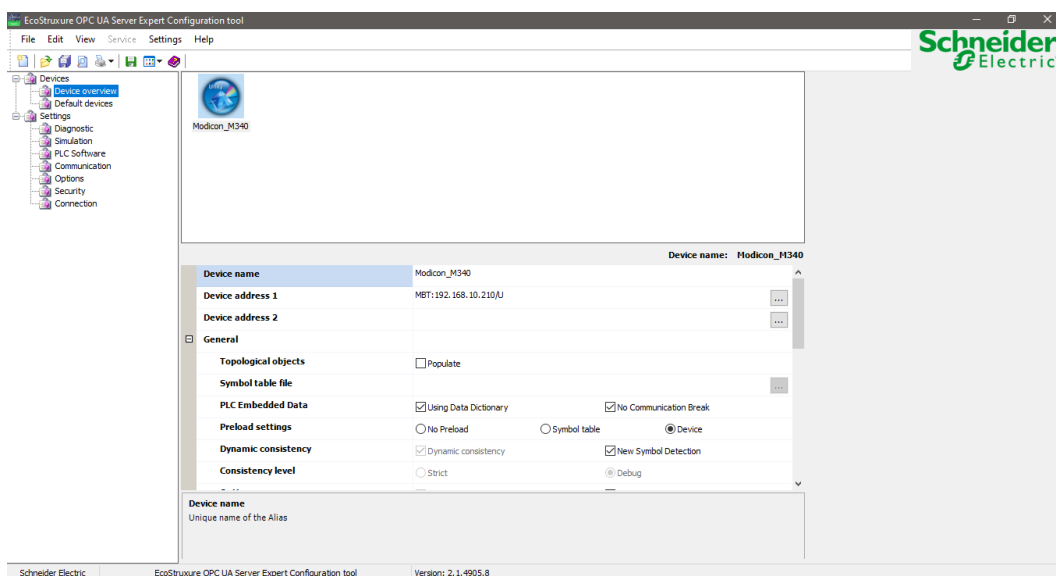


Figura 7 – Software EcoStruxure OPC UA Server Expert da Schneider Electric. Fonte: Autoria própria.

- **Elipse E3:** sistema supervisório amplamente utilizado no mercado, desenvolvido pela empresa brasileira Elipse Software. Esse software possui grande versatilidade, permitindo a construção de interfaces gráficas, alarmes, históricos de variáveis e relatórios customizados (ELIPSE, 2020). No contexto deste trabalho, o Elipse E3

atuou como cliente OPC UA, estabelecendo comunicação com o servidor OPC e viabilizando o monitoramento e controle do processo na bancada.

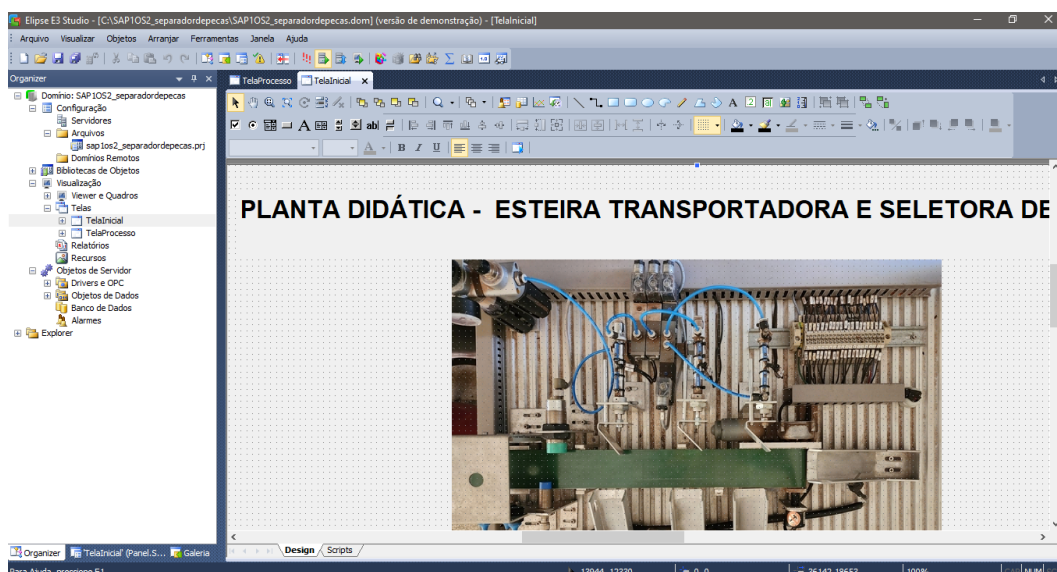


Figura 8 – Software Eclipse E3 Studio. Fonte: Autoria própria.

3.1.3 Materiais

Para a execução prática do projeto, foram disponibilizados pela Universidade Federal de Uberlândia (UFU) todos os materiais necessários para a interligação dos dispositivos. Isso incluiu a fiação elétrica utilizada para a ligação entre a bancada XC243 e o CLP, além da infraestrutura de rede composta por computadores, switch, cabos RJ45 e demais componentes de comunicação. Essa infraestrutura garantiu a integração entre os softwares e os dispositivos físicos, possibilitando a implementação completa do sistema de automação.

3.2 Configuração inicial do CLP Modicon M340

Antes de começar a fazer a programação em Ladder ou até mesmo usar o método GRAFCET, é necessário fazer algumas configurações no software *Unity Pro XL* para que os módulos do CLP se comuniquem corretamente. No **Apêndice A** seguem os passos para a correta configuração.

3.3 Programação do CLP em Ladder

Com o software e o CLP configurados, a implementação da lógica por trás da programação em Ladder foi estruturada a partir da condição da disposição física dos sensores no processo. Os sensores ópticos F1, F2 e F3 estão posicionados de maneira deslocada horizontalmente, de modo que uma mesma peça em movimento sobre a esteira os aciona de forma sequencial.



Figura 9 – Sensores ópticos posicionados com alturas diferentes: F1 (Sensor de peças pequenas), F2 (Sensor de peças médias) e F3 (Sensor de peças grandes). Fonte: Autoria própria.

Da mesma forma ocorre com os sensores indutivo e capacitivo que estão posicionados frente a frente para detecção das peças e que também tem o acionamento consecutivo.

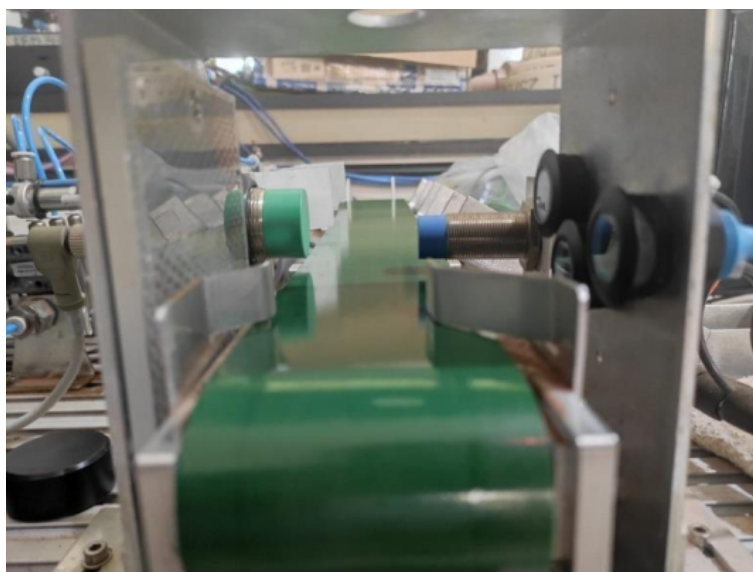


Figura 10 – Montagem dos sensores. Sensor Capacitivo (VERDE) e Sensor Indutivo (AZUL). Fonte: Autoria própria.

Diante dessa característica, tornou-se necessário criar variáveis de memória para registrar os sinais oriundos desses sensores, uma vez que eles possuem natureza transitória e poderiam se perder caso não fossem armazenados. Dessa forma, o uso de memórias booleanas garante a persistência das informações capturadas, permitindo que sejam utilizadas em momentos posteriores para a correta tomada de decisão no fluxo do processo automatizado.

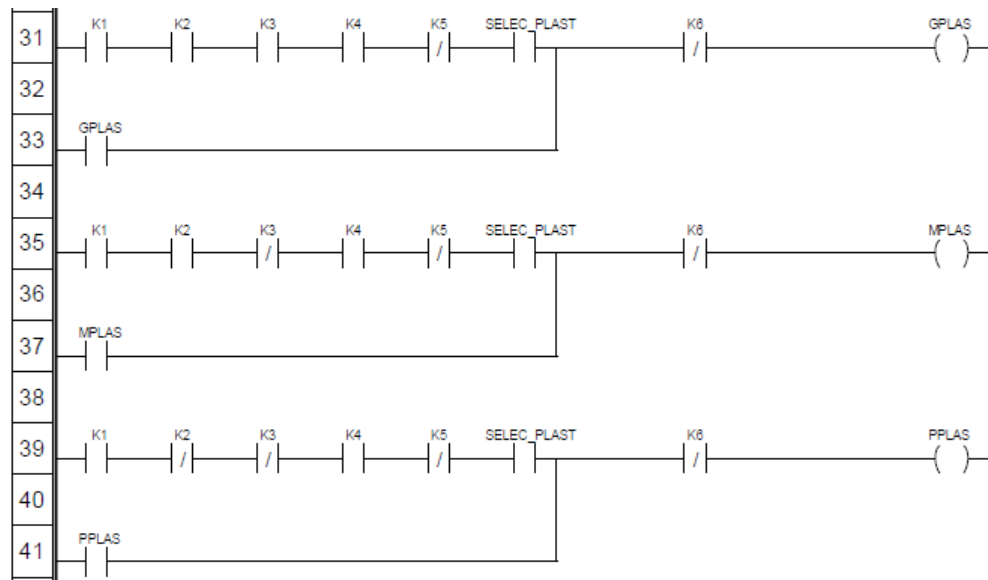


Figura 11 – Lógica em Ladder para separação de peças não metálicas. Fonte: Autoria própria.

Para melhor entendimento da lógica booleana utilizada na programação em Ladder, é importante explicitar que as variáveis de memória na Figura 11 representadas por **K** são respectivamente:

- **K1 = F1** = Sensor de peça PEQUENA
- **K2 = F2** = Sensor de peça MÉDIA
- **K3 = F3** = Sensor de peça GRANDE
- **K4 = CAP** = Sensor CAPACITIVO
- **K5 = IND** = Sensor INDUTIVO

Vale ressaltar que o programa foi elaborado de forma a contemplar tanto a definição do tipo de peça a ser processada quanto o monitoramento da quantidade de itens direcionados para as caixas de armazenamento disponíveis.

Para possibilitar a escolha do tipo de material a ser manipulado, foram inseridos contatos abertos na programação em Ladder denominados *SELEC_METAL* e

SELEC_PLAST como podem ser vistos na Figura 11 e na Figura 12. Esses elementos de controle atuam como parâmetros de seleção, permitindo que o operador defina se o sistema deverá realizar a separação de peças metálicas ou plásticas diretamente do sistema supervisão. Essa lógica de programação assegura que o fluxo da esteira e os atuadores correspondentes atuem de maneira adequada ao tipo de material previamente definido.

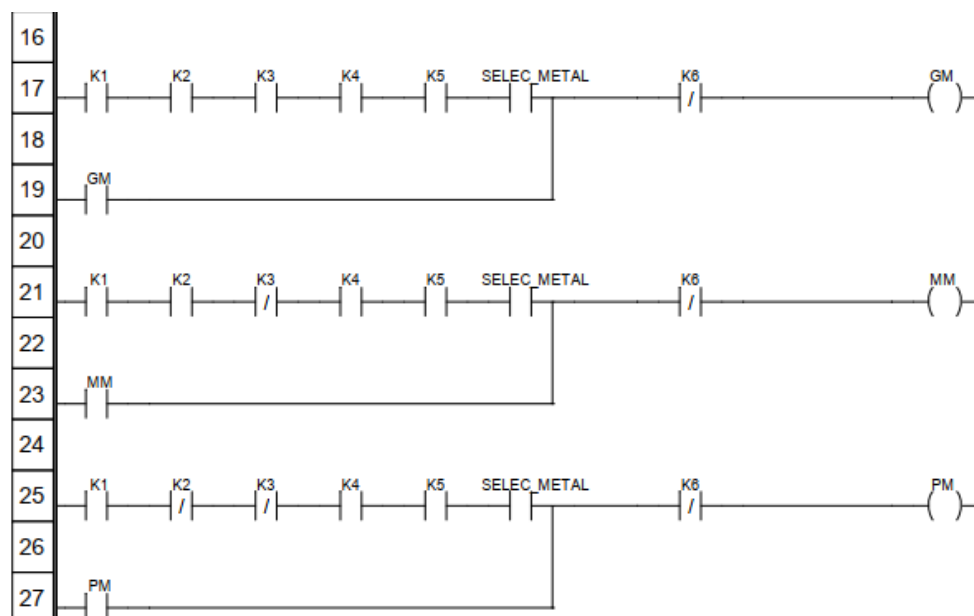


Figura 12 – Lógica em Ladder para separação de peças metálicas. Fonte: Autoria própria.

No que se refere à contagem das peças, foram implementados quatro contadores ascendentes (*CTU_INT_1* a *CTU_INT_4*), vinculados diretamente aos sensores de contato instalados nas vias de direcionamento das peças para as respectivas caixas de coleta. Cada vez que uma peça aciona o sensor associado, o contador correspondente é incrementado, possibilitando o registro preciso da quantidade de peças destinadas a cada caixa.

Adicionalmente, foi configurada a variável de memória K7, destinada à função de reset dos contadores. Quando acionada, essa variável promove a reinicialização simultânea de todos os contadores (*CTU_INT_1* a *CTU_INT_4*), permitindo que o processo de contabilização seja reiniciado de forma prática e eficiente. Essa funcionalidade é essencial para o controle de novos lotes de produção, garantindo maior flexibilidade ao sistema.

Dessa forma, a estrutura de programação em Ladder adotada assegura um controle sistemático do processo, contemplando tanto a seleção do tipo de material quanto a contagem das peças direcionadas às caixas de armazenamento, contribuindo para a eficiência operacional e para a confiabilidade do processo produtivo.

O esquema completo, contendo toda a programação em Ladder embarcada no CLP, encontra-se disponibilizado no **Apêndice C** deste trabalho, possibilitando uma análise

mais detalhada da lógica desenvolvida.

3.4 Metodologia GRACET

A metodologia GRAFCET tem sua estrutura fundamentada em três elementos principais: etapas, transições e ações. As etapas representam os diferentes estados do processo, enquanto as transições correspondem às condições necessárias para a evolução entre estados, ocorrendo somente quando a etapa anterior encontra-se ativa e a receptividade é atendida. As ações, por sua vez, estão diretamente associadas a comandos que resultam em efeitos sobre a planta, geralmente vinculados a saídas do CLP responsáveis pelo acionamento de atuadores e demais dispositivos de controle.

A partir disso, foi desenvolvido o GRAFCET (SFC) no software Unity Pro XL como uma forma de favorecer a visualização sequencial. Buscando aprimorar a compreensão acerca dessa estrutura e de como as etapas foram organizadas, segue no **Apêndice B** a representação gráfica do modelo GRAFCET.

Esse GRAFCET, de certa forma, complementou o projeto e integrou-se com a programação em Ladder desenvolvida. Tal integração representa um alinhamento metodológico que contribui para a clareza na definição das etapas do processo, bem como para a sistematização das transições e condições de acionamento. Além disso, favorece a padronização da modelagem, reduz ambiguidades na interpretação da lógica, amplia a legibilidade do sistema e facilita tanto o processo de validação quanto a manutenção futura.

Esses aspectos tornam a abordagem especialmente relevante no contexto acadêmico, por proporcionar um recurso didático robusto validando dois métodos relevantes para a Automação Industrial, e no ambiente industrial, por assegurar maior confiabilidade e eficiência operacional.

3.5 Criação de um servidor OPC UA

Para viabilizar a obtenção de dados, bem como a sobrescrita e o controle de variáveis do processo, tornou-se necessária a implementação de uma via de comunicação entre o CLP e o computador. Essa integração possibilitou o desenvolvimento de um sistema supervisório (SCADA), fundamental para o monitoramento e a interação com a aplicação em tempo real.

Neste projeto, optou-se pela utilização do protocolo OPC UA (*Open Platform Communications Unified Architecture*), em conjunto com o software *EcoStruxure OPC UA Server Expert*, da fabricante Schneider Electric. O uso dessa ferramenta mostrou-se adequado não apenas por disponibilizar os recursos necessários para a criação, configu-

ração e validação da conexão com o CLP, mas também por ser fornecida pela própria fabricante do controlador adotado, o que garante total compatibilidade e integração com o hardware utilizado. Dessa forma, assegurou-se a troca de informações e o compartilhamento eficiente de dados e variáveis entre os dispositivos.

3.5.1 Configuração do Servidor OPC UA

Para obter a correta conexão entre o *device* CLP e o computador é necessário fazer algumas configurações no software *EcoStructure OPC UA Server Expert Configuration Tool*, no **Apêndice D** seguem os passos para a configuração necessária.

3.5.2 Teste de Conexão com o Servidor OPC UA

Após a configuração do servidor OPC UA, foi realizado o teste de conexão para verificar se o CLP estava devidamente conectado e disponibilizando seus dados e informações para o servidor. A descrição desse processo está no **Apêndice E**.

3.6 Cliente OPC UA no Elipse E3

Após o estabelecimento da conexão entre o CLP e o servidor OPC UA, tornou-se necessário disponibilizar as variáveis a um software supervisorio (SCADA), de modo a possibilitar a criação de uma interface homem-máquina (HMI) capaz de atender aos objetivos de supervisão e controle do processo de separação de peças.

Para atender a essa demanda, utilizou-se o software Elipse E3, que se destaca pela versatilidade no desenvolvimento de interfaces HMI e pelo suporte nativo ao padrão OPC UA. Dessa forma, o sistema pôde atuar como cliente OPC UA, garantindo a comunicação com o servidor e a consequente troca de informações com o CLP.

3.6.1 Configurando um Cliente OPC UA no Elipse E3

A configuração do Elipse E3 para operar como cliente OPC UA, viabilizando a leitura/escrita de variáveis de um servidor OPC UA e a integração com as telas HMI/SCADA do projeto demandam alguns passos:

- Primeiro abra o E3 Studio e carregue o projeto/domínio ou crie um novo. Após isso, já com o projeto/domínio criado, clique com o botão direito sobre o nome do projeto e vá em Inserir → Driver de Comunicação OPC UA.

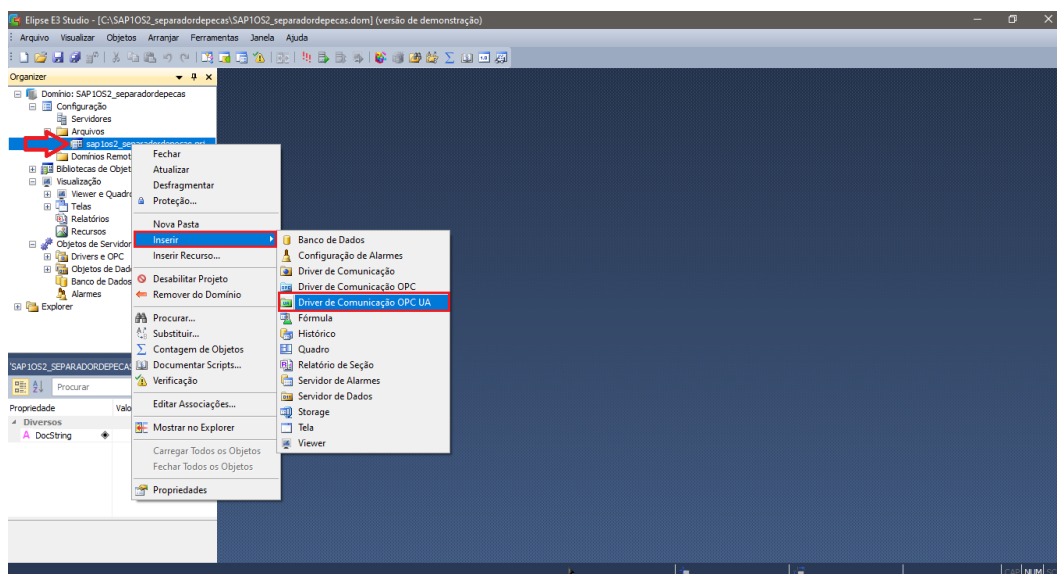


Figura 13 – Criando o Driver de Comunicação OPC UA no Eclipse E3. Fonte: Autoria própria.

- Com o Driver de Comunicação criado (aparece como DriverUA1), agora deve-se criar uma assinatura para receber os dados e variáveis do servidor, para isso clique no ícone de "+" azul e crie uma Assinatura OPC UA.

Feito isso, é importante também adicionar às propriedades do driver o *EndpointURL* disponibilizado pelo servidor, cujo padrão é: `opc.tcp://<host>:<porta>` e também conferir se as políticas de segurança estão desabilitadas ou sem autenticação (`usm=None;usp=None`)

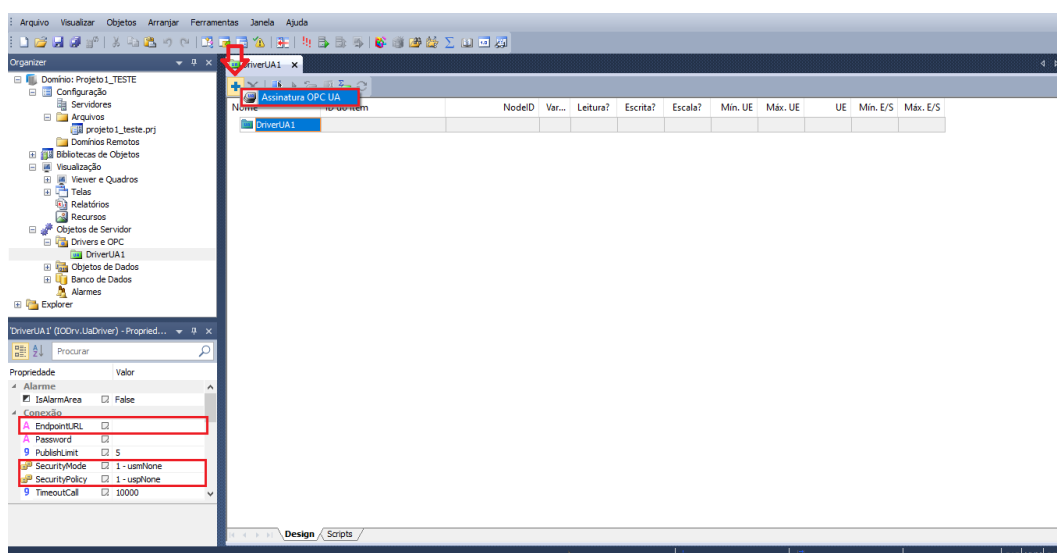


Figura 14 – Configuração do Driver de Comunicação OPC UA no Eclipse E3. Fonte: Autoria própria.

- Agora que o driver está configurado deve-se ativá-lo para que seja possível importar as tags vindas do servidor. Tendo ativado o driver, basta importar as tags desejadas

de acordo com o seu uso nas telas HMI/SCADA.

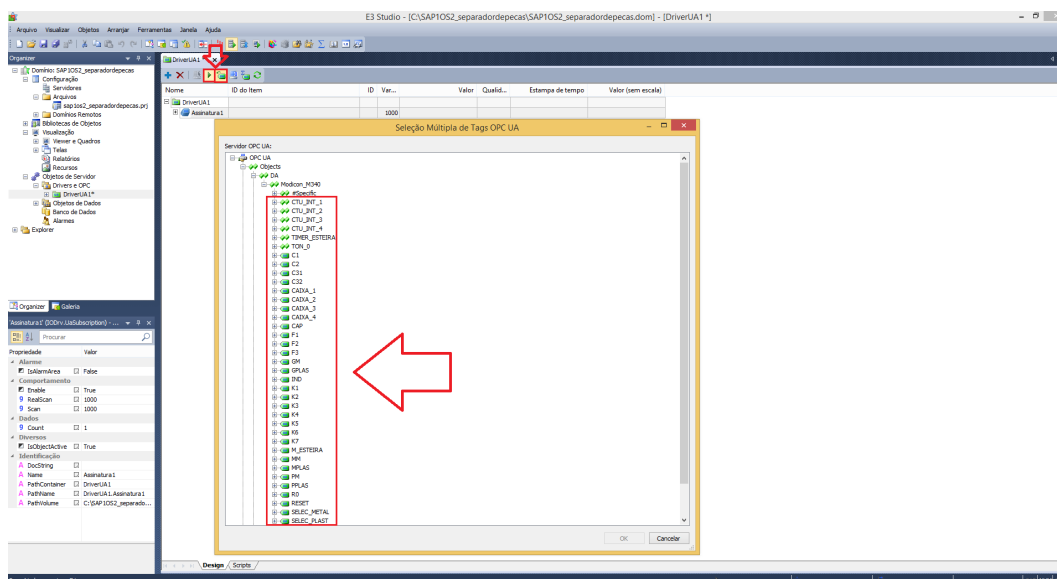


Figura 15 – Importando tags usando o Driver OPC UA no Elipse E3. Fonte: Autoria própria.

3.7 Sistema supervisório para esteira separadora

Para o desenvolvimento do sistema supervisório do projeto foram utilizadas 17 tags para representar graficamente os dados de interesse na interface homem-máquina (HMI).

Nome	ID do Item	NodeID	Var...	Leitura?	Escrita?	Escala?	Min. UE	Máx. UE	UE	Min. E/S	Máx. E/S
DriverUA1											
Assinatura1			1000								
Objects											
DA											
Modicon_M340											
SELEC_PLAST	/Objects/2:DA/2:Modicon_M340	A	ns=0:Modicon_M340/SELEC_PLAST	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1		0	1
R0	/Objects/2:DA/2:Modicon_M340	A	ns=2:s=0:Modicon_M340/R0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1		0	1
SELEC_METAL	/Objects/2:DA/2:Modicon_M340	A	ns=0:Modicon_M340/SELEC_METAL	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1		0	1
C2	/Objects/2:DA/2:Modicon_M340	A	ns=2:s=0:Modicon_M340/C2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1		0	1
CAP	/Objects/2:DA/2:Modicon_M340	A	ns=2:s=0:Modicon_M340/CAP	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1		0	1
C1	/Objects/2:DA/2:Modicon_M340	A	ns=2:s=0:Modicon_M340/C1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1		0	1
C31	/Objects/2:DA/2:Modicon_M340	A	ns=2:s=0:Modicon_M340/C31	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1		0	1
F2	/Objects/2:DA/2:Modicon_M340	A	ns=2:s=0:Modicon_M340/F2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1		0	1
M_ESTEIRA	/Objects/2:DA/2:Modicon_M340	A	ns=0:Modicon_M340/M_ESTEIRA	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1		0	1
IND	/Objects/2:DA/2:Modicon_M340	A	ns=2:s=0:Modicon_M340/IND	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1		0	1
F3	/Objects/2:DA/2:Modicon_M340	A	ns=2:s=0:Modicon_M340/F3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1		0	1
F1	/Objects/2:DA/2:Modicon_M340	A	ns=2:s=0:Modicon_M340/F1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1		0	1
CTU_INT_4											
CTU_INT_3											
CTU_INT_1											
CTU_INT_2											
RESET	/Objects/2:DA/2:Modicon_M340	A	ns=2:s=0:Modicon_M340/RESET	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1		0	1

Figura 16 – Relação de tags utilizadas no desenvolvimento do sistema supervisório (SCADA). Fonte: Autoria própria.

Em posse dessas tags, que carregam as informações advindas do CLP, foi possível

estruturar uma interface contendo botões de controle e elementos de supervisão do processo. A organização da HMI foi realizada em diferentes áreas funcionais, contemplando o acionamento do processo, a seleção de parâmetros de operação, a indicação do estado de sensores e atuadores, bem como a contagem das peças processadas.

Dessa forma, a interface não apenas possibilita o comando do sistema, mas também fornece ao operador uma visão clara e integrada das variáveis críticas para o acompanhamento da produção.

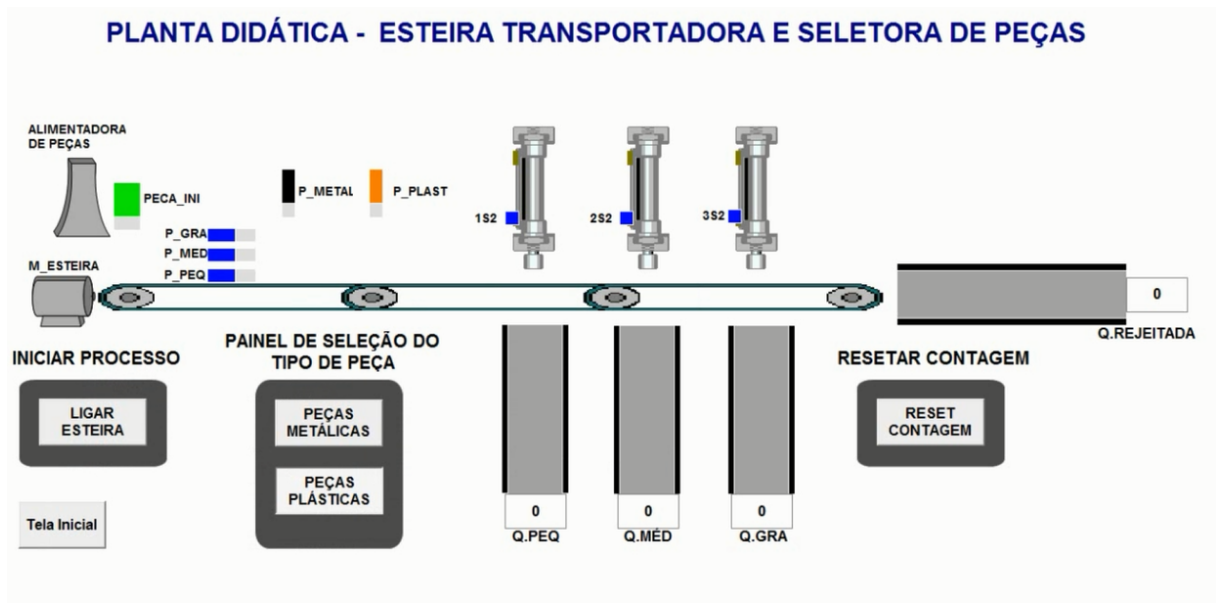


Figura 17 – Sistema supervisório para esteira separadora de peças. Adaptado de: (CAVALCANTE, 2021)

3.7.1 Área de Início do Processo

Na região identificada como **Iniciar Processo** na Figura 17, encontra-se o botão *Ligar Esteira*, responsável pelo acionamento do motor da esteira transportadora (M_ESTEIRA). Ao ser acionado, este comando inicia o deslocamento das peças sobre a esteira, viabilizando a detecção e posterior seleção pelas etapas subsequentes do sistema.

3.7.2 Indicadores de Detecção de Peças

O sistema conta com diferentes sensores de entrada representados na interface por indicadores luminosos:

- **PECA_INI (verde)**: sinaliza o funcionamento da esteira e que o sistema está pronto para receber uma peça na posição inicial da esteira, ou seja, na área de alimentação.

- **P_GRA, P_MED e P_PEQ (azuis):** indicam a detecção do tamanho da peça, classificando-a respectivamente como grande, média ou pequena.
- **P_METAL (preto) e P_PLAST (laranja):** atuam na identificação do material constitutivo da peça, distinguindo entre peças metálicas e plásticas.

Esses indicadores têm a função de fornecer ao operador o status em tempo real da peça que está sendo processada, garantindo confiabilidade na classificação.

3.7.3 Atuadores Pneumáticos e Sensores de Posição

Ao longo da esteira, estão dispostos três cilindros pneumáticos, utilizados para desviar as peças de acordo com sua categoria. Os indicadores 1S2, 2S2 e 3S2 representam sensores de posição associados a cada cilindro, sinalizando quando os mesmos são acionados para efetuar a separação da peça conforme a lógica de controle.

Para este trabalho foi desenvolvida a seguinte lógica de controle de disposição das peças nas suas respectivas caixas:

- **CAIXA 1 (1ª Rampa):** Peças PEQUENAS METÁLICAS e PEQUENAS PLÁSTICAS;
- **CAIXA 2 (2ª Rampa):** Peças MÉDIAS METÁLICAS e MÉDIAS PLÁSTICAS;
- **CAIXA 3 (3ª Rampa):** Peças GRANDES METÁLICAS e GRANDES PLÁSTICAS;
- **CAIXA 4 (4ª Rampa):** Peças rejeitadas

3.7.4 Painel de Seleção de Tipo de Peça

O operador dispõe ainda de um painel de seleção com dois botões:

- **Peças Metálicas:** configura o sistema para direcionar as peças metálicas ao compartimento de aceitação.
- **Peças Plásticas:** destina as peças plásticas ao compartimento adequado.

Essa funcionalidade permite ao operador definir o critério de separação de acordo com o material das peças.

3.7.5 Displays de Contagem

A interface apresenta contadores digitais que registram a quantidade de peças classificadas:

- **Q.PEQ:** exibe o total de peças pequenas processadas.
- **Q.MED:** contabiliza as peças médias.
- **Q.GRA:** corresponde ao número de peças grandes.
- **Q.REJEITADA:** mostra a quantidade de peças que foram descartadas por não atenderem aos critérios estabelecidos.

Esse recurso proporciona ao operador uma visão quantitativa do desempenho do processo, facilitando análises posteriores sobre eficiência e produtividade.

3.7.6 Função de Reset de Contagem

Por fim, a interface disponibiliza o botão *Reset Contagem*, que zera todos os registros dos displays, permitindo o reinício da contagem em novos ciclos de operação. Esse recurso é importante para o monitoramento de lotes específicos de produção ou ensaios experimentais em ambiente didático.

3.8 Considerações Finais

Para o desenvolvimento do sistema de supervisão e controle aplicado à esteira separadora de peças foram inicialmente descritos os equipamentos, softwares e materiais empregados, destacando o CLP Modicon M340 e a bancada didática XC243, bem como as ferramentas *Unity Pro XL*, *EcoStruxure OPC UA Server Expert* e *Eclipse E3*.

Na sequência, foi descrita a configuração do CLP, a elaboração da programação em Ladder, o uso da metodologia GRAFCET e a integração da comunicação via servidor OPC UA, contemplando desde a configuração até os testes de conexão. Posteriormente, demonstrou-se a utilização do *Eclipse E3* como cliente OPC UA, permitindo a integração com o servidor criado e a disponibilização das variáveis de processo. Por fim, foi implementado o sistema supervisório com interface HMI, que incorporou botões de comando, indicadores de sensores e atuadores, contadores digitais e função de reset de contagem, garantindo tanto o controle quanto o monitoramento do processo em tempo real.

Assim, consolidou-se todas as fases de desenvolvimento, desde a escolha dos recursos técnicos até a implementação final da supervisão e do controle, resultando em uma aplicação didática completa e funcional para o estudo de conceitos de Automação Industrial.

4 Resultados

Este capítulo tem como objetivo descrever e analisar os resultados obtidos pelas etapas descritas no capítulo anterior, será avaliado o desempenho do sistema, a integração entre hardware e software, bem como uma análise crítica sobre a solução adotada, baseada no protocolo OPC UA.

4.1 Desempenho do sistema

O sistema desenvolvido demonstrou desempenho satisfatório em todos os testes realizados. O Controlador Lógico Programável (CLP) Modicon M340, devidamente programado em linguagem Ladder, executou de forma confiável a lógica de separação das peças. Os sensores de entrada identificaram corretamente os diferentes atributos (tamanho e material), e os atuadores pneumáticos realizaram a classificação conforme a lógica estabelecida.

Do ponto de vista supervísório, a interface HMI desenvolvida no software Elipse E3 garantiu ao operador uma visualização clara do processo em tempo real. Os indicadores luminosos de sensores, os contadores digitais e os comandos de acionamento responderam de forma imediata, confirmando a eficiência da comunicação via servidor OPC UA. Não foram observados atrasos significativos ou perda de dados durante os testes, o que confirma a robustez do sistema no atendimento aos requisitos do projeto.

4.2 Integração hardware/software

A integração entre o CLP, o servidor OPC UA e o supervísório demonstrou ser consistente e estável. A configuração inicial do CLP, associada à implementação do servidor OPC UA por meio do software *EcoStructure OPC UA Server Expert*, permitiu a disponibilização das variáveis de processo de maneira transparente ao cliente supervísório.

O Elipse E3, por sua vez, atuou como cliente OPC UA, utilizando essas variáveis para compor a HMI. A interoperabilidade entre os elementos de hardware e software se mostrou adequada, com flexibilidade para a expansão do sistema em cenários industriais mais complexos. A capacidade de detectar automaticamente novas variáveis e disponibilizá-las ao supervísório, recurso oferecido pelo OPC UA, otimizou o processo de integração e simplificou a configuração.

4.3 Análise crítica sobre o protocolo OPC UA

A escolha do OPC UA para este projeto mostrou-se adequada, considerando a natureza didática e industrial da aplicação, em que a padronização, a interoperabilidade e a confiabilidade são fatores primordiais.

Mesmo atendendo à proposta do projeto, é importante levantar alguns pontos positivos e negativos do uso desse protocolo de comunicação.

Pontos positivos:

- Alta interoperabilidade em ambientes industriais, sendo amplamente suportado por fabricantes de CLPs, supervisórios e dispositivos de campo.
- Suporte nativo a estruturas complexas de dados, além de serviços de modelagem da informação, o que o torna adequado para sistemas industriais de pequeno, médio e grande porte.
- Segurança integrada, incluindo autenticação e criptografia.

Pontos negativos:

- Configuração inicial complexa.
- Dependência de softwares proprietários em muitos casos, o que pode aumentar custos.
- Requisitos de hardware e rede relativamente maiores em comparação a protocolos mais leves.

Assim, pode-se afirmar que o OPC UA atendeu plenamente às expectativas do projeto, garantindo a integração eficaz entre hardware e software, além de proporcionar uma base sólida para futuras expansões do sistema em contextos mais complexos para a Indústria 4.0.

4.4 Considerações Finais

Neste capítulo foram apresentados e analisados os resultados obtidos com a implementação do sistema de supervisão e controle da esteira separadora de peças. A avaliação prática demonstrou que a integração entre hardware e software ocorreu de maneira eficaz, garantindo o correto funcionamento da lógica de separação e a supervisão em tempo real por meio da interface HMI. O desempenho do sistema atendeu plenamente às expectativas, evidenciando a robustez da arquitetura adotada.

A análise crítica do protocolo OPC UA, utilizado no projeto, possibilitou a identificação de vantagens e limitações em cada abordagem. O OPC UA se mostrou mais adequado a contextos industriais que demandam padronização, interoperabilidade e segurança. Contudo, sua aplicação não se restringe apenas ao ambiente produtivo, uma vez que também possui grande importância em contextos didáticos.

Em ambientes educacionais, o uso do protocolo contribui para a formação de profissionais, permitindo a compreensão prática das vantagens de uma comunicação padronizada, segura e escalável entre dispositivos. Além disso, favorece a reprodução de cenários reais de integração industrial em laboratórios acadêmicos, tornando o processo de ensino mais próximo da realidade do mercado.

Dessa forma, conclui-se que a escolha pelo OPC UA foi coerente com os objetivos do trabalho, oferecendo uma solução sólida e confiável para aplicações didáticas e industriais.

5 Conclusão

O presente trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de um sistema de supervisão e controle aplicado a uma esteira separadora de peças, com enfoque em aplicações didáticas e industriais. As disciplinas Automação Industrial e Redes Industriais, do curso de Graduação em Engenharia Mecatrônica da Universidade Federal de Uberlândia, se mostraram importantes para o entendimento dos conceitos teóricos aplicados na realização deste trabalho.

A partir da utilização de um CLP Modicon M340, da criação de um servidor OPC UA e da integração com o software Elipse E3, foi possível estruturar um ambiente completo de automação, no qual o processo pôde ser controlado e monitorado em tempo real.

A programação em Ladder e o uso da metodologia GRAFCET se mostraram eficientes na organização sequencial do processo e na implementação lógica do CLP. O sistema supervisorio desenvolvido contemplou todas as funcionalidades essenciais para o acompanhamento do processo, incluindo acionamentos, indicadores de sensores e atuadores, bem como registros quantitativos por meio de contadores digitais. Os resultados obtidos confirmaram que a solução proposta atendeu às expectativas, separando corretamente as peças segundo os critérios estabelecidos e oferecendo ao operador uma visão clara e confiável do sistema.

A análise crítica acerca do protocolo OPC UA evidenciou que a solução adotada é bastante adequada ao contexto industrial, sobretudo pela sua padronização, robustez e segurança. Além disso, verificou-se que o protocolo também se mostra apropriado para aplicações didáticas, pois possibilita ensinar de forma prática as vantagens de sua utilização, como a interoperabilidade entre diferentes sistemas e fabricantes.

5.1 Trabalhos Futuros

Embora o sistema desenvolvido tenha atingido os objetivos propostos, algumas melhorias podem ser exploradas em trabalhos futuros, ampliando sua aplicabilidade prática e seu alinhamento com os princípios da Indústria 4.0.

Uma primeira possibilidade é o desenvolvimento de um aplicativo de controle, em plataforma móvel, que se comunique diretamente com o servidor OPC UA. Essa aplicação permitiria ao operador monitorar variáveis, acionar comandos e acompanhar indicadores de desempenho da esteira separadora em tempo real, de forma intuitiva e acessível. Tal recurso representaria um avanço significativo em termos de mobilidade, facilitando o uso em ambientes industriais modernos, onde a descentralização do controle é cada vez mais valorizada.

Outra proposta consiste em disponibilizar o sistema supervisório para acesso em rede local, possibilitando sua utilização em qualquer computador conectado ao mesmo ambiente de comunicação do CLP e do servidor OPC UA. Essa expansão garantiria maior flexibilidade operacional, uma vez que diferentes usuários poderiam acompanhar o processo simultaneamente em distintos pontos da planta, sem a necessidade de estar fisicamente próximo ao sistema de controle principal.

Por fim, também seria interessante o aprimoramento da interface HMI, com o desenvolvimento de telas ainda mais interativas e compatíveis com diferentes dispositivos. A inclusão de *dashboards* gráficos, relatórios automáticos de desempenho e recursos de análise estatística poderia oferecer ao operador uma visão mais completa e estratégica do processo, contribuindo não apenas para o controle imediato, mas também para a tomada de decisão baseada em dados.

Conclui-se, assim, que o sistema de supervisão e controle desenvolvido representa uma solução robusta e eficiente para o estudo e aplicação de conceitos de automação industrial, validando o uso do protocolo OPC UA como meio de integração entre hardware e software.

As propostas apresentadas para trabalhos futuros reforçam o potencial de evolução contínua do projeto, aproximando-o cada vez mais das demandas de conectividade, flexibilidade e inteligência características da Indústria 4.0.

Referências

- ALCÁNTARA J.; SANTOS, R. **Automação Industrial: Fundamentos e aplicações**. [S.l.]: São Paulo: Atlas, 2021. Citado na página 15.
- BEHR R.; FRANK, U. **OPC Unified Architecture**. [S.l.]: Springer, 2010. Citado 2 vezes nas páginas 22 e 23.
- BOLTON, W. **Automação Industrial: Sistemas de Controle e Instrumentação**. [S.l.]: Rio de Janeiro: LTC, 2015. Citado na página 22.
- CAVALCANTE, D. P. **Nível Lógico Automação - Aula On - line - Separador de Peças - Parte 2. Sistema Supervisório Elipse E3**. 2021. <<https://www.youtube.com/watch?v=e1XEqGMY8lg>>. Acesso em 20 Ago. 2025. Citado 2 vezes nas páginas 7 e 36.
- CHIABRANDO V.; PEREIRA, L. **Impactos da automação na produtividade industrial**. [S.l.]: Rio de Janeiro: Elsevier, 2020. Citado na página 15.
- EEEP. **CLP - Controladores Lógico Programáveis**. 2015. <https://www.seduc.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/37/2012/06/eletrotecnica_controladores_logico_programaveis_clp.pdf>. Acesso em 19 Ago. 2025. Citado 2 vezes nas páginas 7 e 18.
- ELIPSE. **Elipse E3 – SCADA System**. 2020. <<https://www.elipse.com.br/produto/elipse-e3>>. Acesso em 20 Ago. 2025. Citado na página 27.
- EXSTO, T. **Manual da Bancada de Ensaios para Processo de Manufatura XC243**. 2023. Acesso em 20 Ago. 2025. Citado 3 vezes nas páginas 7, 25 e 26.
- GARCIA, F. **Controle e automação de processos industriais**. [S.l.]: São Paulo: LTC, 2018. Citado na página 16.
- GROOVER, M. P. **Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing**. [S.l.]: Upper Saddle River: Pearson, 2015. Citado na página 15.
- IEC. **IEC 60848: GRAFCET Specification Language for Sequential Function Charts**. [S.l.]: Geneva: IEC, 2013. Citado na página 19.
- LIMA P.; MORAES, T. **Tendências e desafios da Indústria 4.0**. [S.l.]: Florianópolis: UFSC, 2022. Citado na página 15.
- MAITELLI, A. L. **Notas de aula da disciplina controladores lógicos programáveis**. [S.l.]: Natal: DCA/UFRN, 2005. Citado 3 vezes nas páginas 7, 19 e 20.
- MORAES A. S.; MARTINS, A. S. **Controladores Lógicos Programáveis: conceitos, aplicações e programação em Ladder**. [S.l.]: São Paulo: Érica, 2015. Citado na página 18.
- OBELE, A. F. et al. Reliability concerns of programmable logic controllers: Trends and methodologies from 2010-2023. **Multidisciplinary Reviews**, v. 7, n. 12, 2024. Citado na página 16.

- OPC, F. **Unified Architecture Landingpage**. 2010. <https://opcfoundation-org.translate.google/about/opc-technologies/opc-ua/?__x_tr_sl=en&__x_tr_tl=pt&__x_tr_hl=pt&__x_tr_pto=tc>. Acesso em 19 Ago. 2025. Citado na página 23.
- OPC, F. **What is OPC?** 2010. <<https://opcfoundation.org/about/what-is-opc>>. Acesso em 19 Ago. 2025. Citado na página 22.
- PEREIRA, C. A. **Sistemas SCADA e Aplicações na Automação Industrial**. [S.l.]: São Paulo: Érica, 2017. Citado 2 vezes nas páginas 20 e 21.
- SCHNEIDER, E. **Modicon M340 - Mid-range PAC industrial process and infrastructure control**. 2014. <<https://www.se.com/in/en/product-range/1468-modicon-m340/#overview>>. Acesso em 18 Ago. 2025. Citado 3 vezes nas páginas 7, 17 e 24.
- SCHNEIDER, E. **EcoStruxure Control Expert**. 2024. <<https://www.se.com/br/pt/product-range/548-ecostruxure-control-expert/#overview>>. Acesso em 20 Ago. 2025. Citado na página 26.
- SCHNEIDER, E. **EcoStruxure OPC UA Server Expert**. 2024. <www.se.com/br/pt/product-range/66388-ecostruxure-opc-ua-server-expert>. Acesso em 20 Ago. 2025. Citado na página 27.
- SILVA, J. B. d. **Supervisão e Controle de Processos Industriais com SCADA**. [S.l.]: Rio de Janeiro: Elsevier, 2019. Citado na página 20.
- SILVA R. L.; CUNHA, J. R. Protocolos de comunicação em sistemas de automação. **Revista Brasileira de Automação**, v. 20, n. 2, p. 55–72, 2022. Citado na página 22.

Apêndices

APÊNDICE A – Configuração do CLP

Modicon M340 no Unity Pro XL

- Primeiramente, após abrir o software *Unity Pro XL* deve-se na Barra de Tarefas, entrar em File → New... (Ctrl + N) e criar um novo projeto.

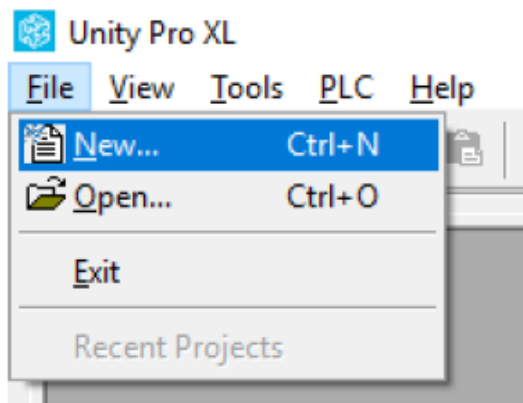


Figura 18 – Iniciando um novo projeto no *Unity Pro XL*. Fonte: Autoria própria.

- Em seguida, na aba de *New Project* que abrirá, é importante clicar em BMX P34 2020, que é o modelo do CLP que foi utilizado neste trabalho.

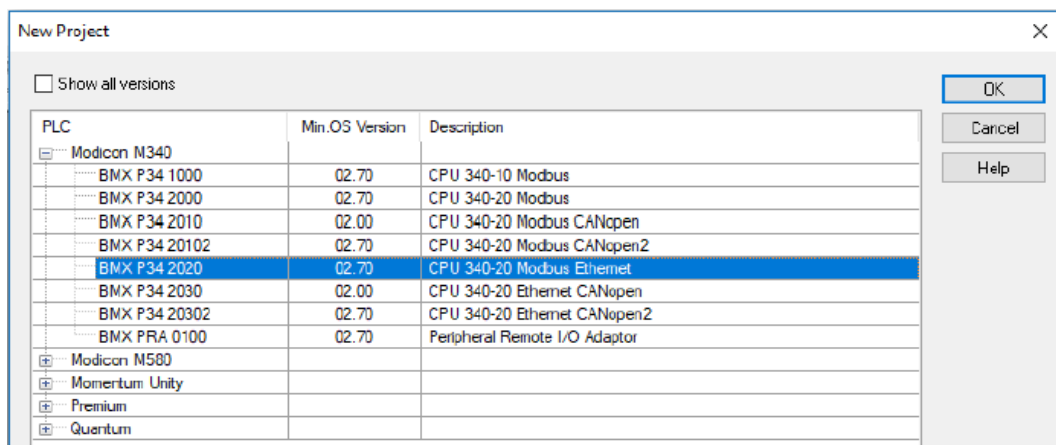


Figura 19 – Selecionando o modelo do CLP. Fonte: Autoria própria.

- Após carregar um novo projeto, tem-se o menu que guiará todo o projeto. Neste momento deve-se clicar em: *Project* → *Configuration* → *0: PLC bus* e dar um duplo clique em 0: BMX XBP 0800, isso abrirá a seguinte janela:

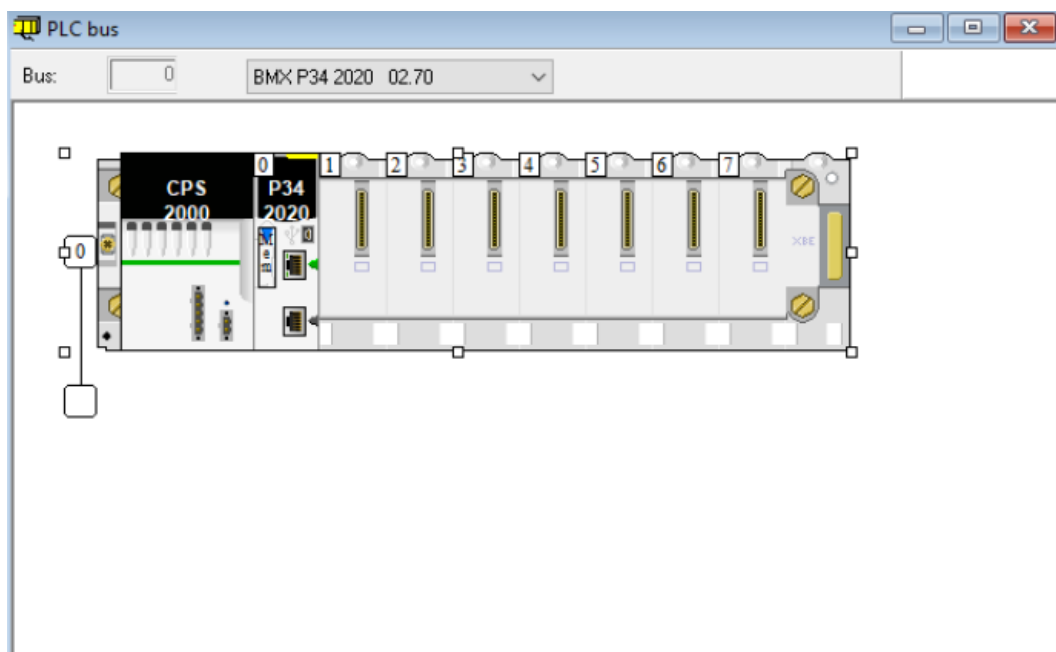


Figura 20 – Configurando o PLC bus. Fonte: Autoria própria.

- O modelo do CLP que foi utilizado não reconhece a versão pré-estabelecida, por isso, é necessário clicar em **BMX P34 2020 02.70** e alterar para **BMX P34 2020 02.10**.

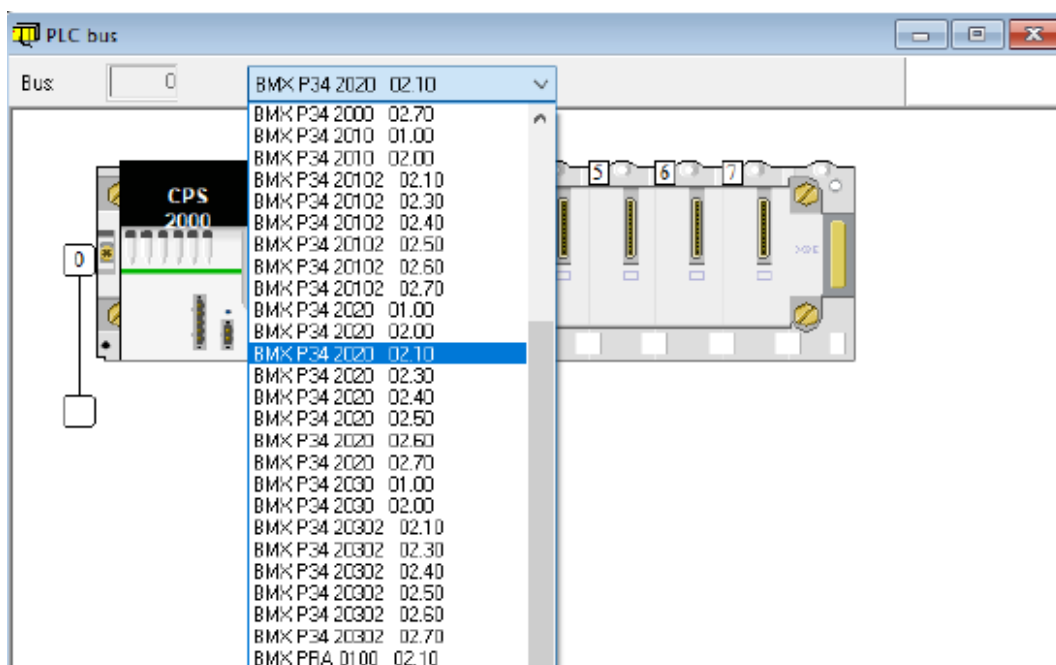


Figura 21 – Alterando a versão de processamento. Fonte: Autoria própria.

- É de extrema importância que os módulos do CLP no software *Unity Pro XL* estejam na mesma ordem e disposição sequencial que os módulos físicos dispostos no CLP real, assim como mostrado na Figura 4.

- Com os módulos implementados, é necessário criar um meio de comunicação entre o usuário e o CLP. Para isso, no *Project Browser*, vá em *Communication* → *Network*, clique com botão direito e *New Network*.

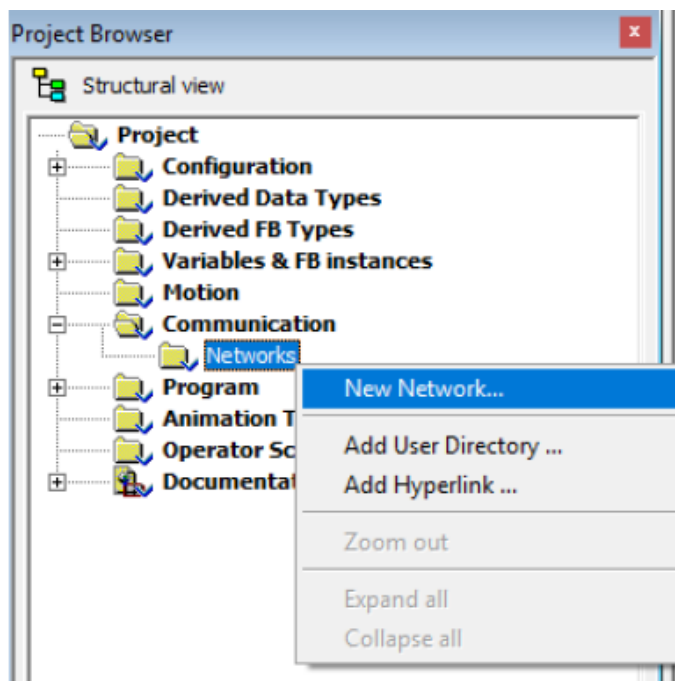


Figura 22 – Criando comunicação Computador/CLP. Fonte: Autoria própria.

- É necessário criar duas redes de comunicação Ethernet, uma para a CPU e a outra para o NOE, para isso, na caixa que abre, selecione Ethernet e nomeie-o. Repita o passo para criar a outra comunicação, nomeie-a diferente. (Dica: nomeie-os como CPU e NOE).

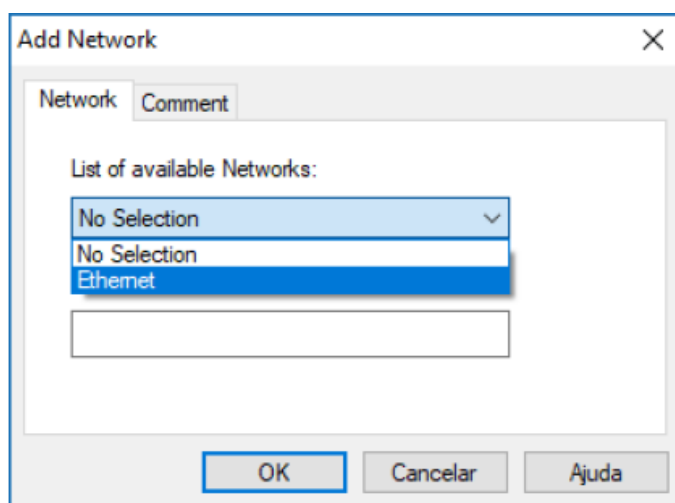


Figura 23 – Inserindo comunicação Ethernet. Fonte: Autoria própria.

- Após criar a comunicação e preciso configurar, para isso dê duplo clique em CPU, altere o *Model Family* para **CPU 2020**, **CPU 2030**, ($\geq V02.00$) e na parte

Security mude *Firmware Upgrade & FDR* e *Web Access* para **Enabled**.

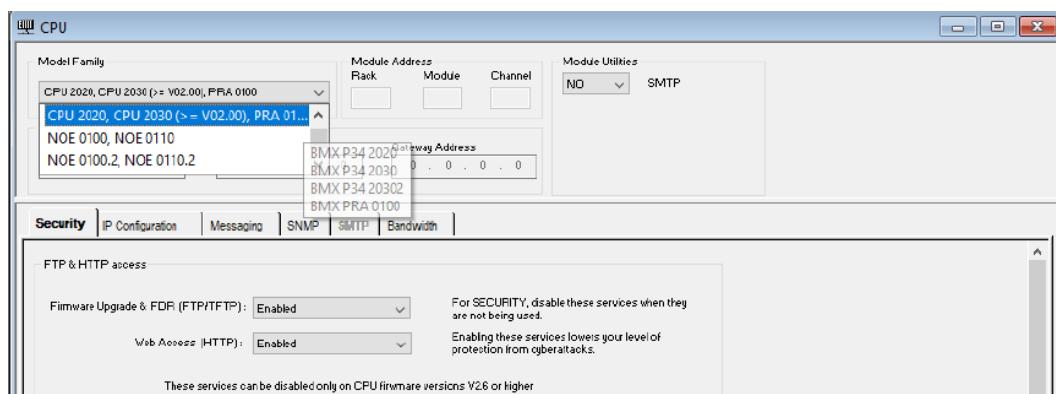


Figura 24 – Configurando comunicação com a CPU. Fonte: Autoria própria.

- Ainda na configuração da CPU, na aba *IP Configuration* altere para um IP que não esteja sendo utilizado por nenhuma outra máquina. No caso deste trabalho, foi utilizada a seguinte configuração:

IP Address: 192.168.0.210

Subnetwork mask: 255.255.255.0

Após feito isso, valide as configurações salvando o projeto.

- Agora, abra *Communication* → *Networks* → *NOE* para configurar a comunicação com o NOE. Confira se o *Model Family* está em NOE 0100.2, caso não, altere-o para este. Em seguida, vá em *IP Configuration* e assim como feito anteriormente defina um *IP Address* que não esteja sendo utilizado por outros dispositivos, no caso deste estudo foi utilizada a configuração abaixo:

IP Address: 192.168.0.215

Subnetwork mask: 255.255.255.0

Após isso, valide as alterações e feche o menu aberto.

- Com a comunicação configurada é necessário indicar aos módulos com o que cada módulo vai se comunicar e como vai ocorrer a comunicação. Portanto, em *Project Browser* vá em *Configuration* → *0: PLC bus* → *0: BMX P34 2020* → *Ethernet* clique em *Channel 3* altere o *Function* para **ETH TCP IP** e o *Net Link* para **CPU**.

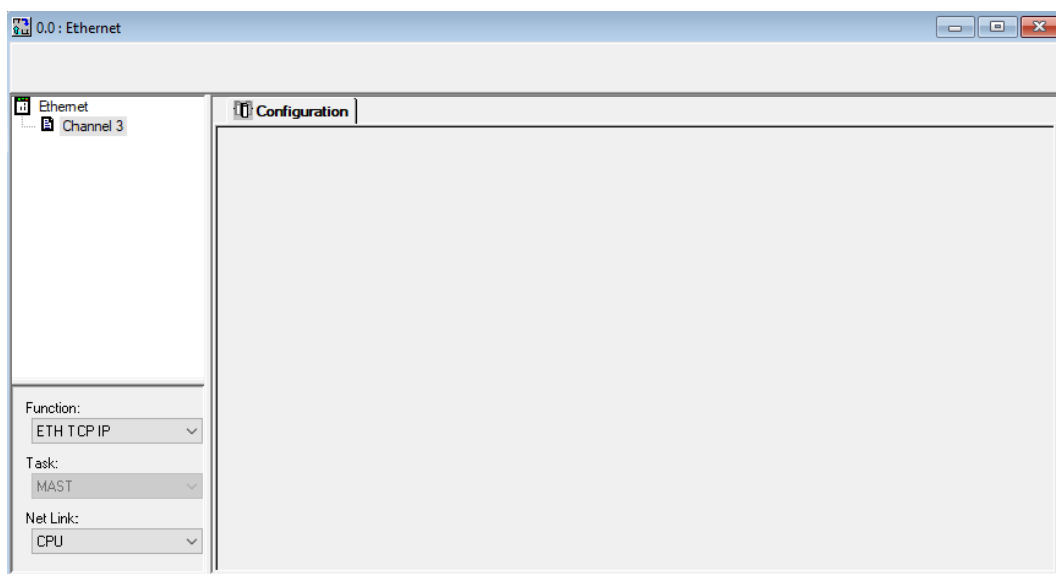


Figura 25 – Configuração da comunicação do CLP. Fonte: Autoria própria.

- Repita o passo anterior para o módulo 1: *BMX NOE 0100.2*, de modo que ele terá *Channel 0* altere o *Function* para **ETH TCP IP** e o *Net Link* para **NOE**. Valide e feche o menu aberto.
- Por fim, com todos os módulos comunicantes configurados, pode-se iniciar um novo programa, para isto, vá no *Project Browser* em *Program* → *Tasks* → *MAST* clique com o botão direito em *Section* e inicie uma *New Section* para começar a programar em Ladder ou em outros tipos de programação disponíveis no *Unity Pro XL*.

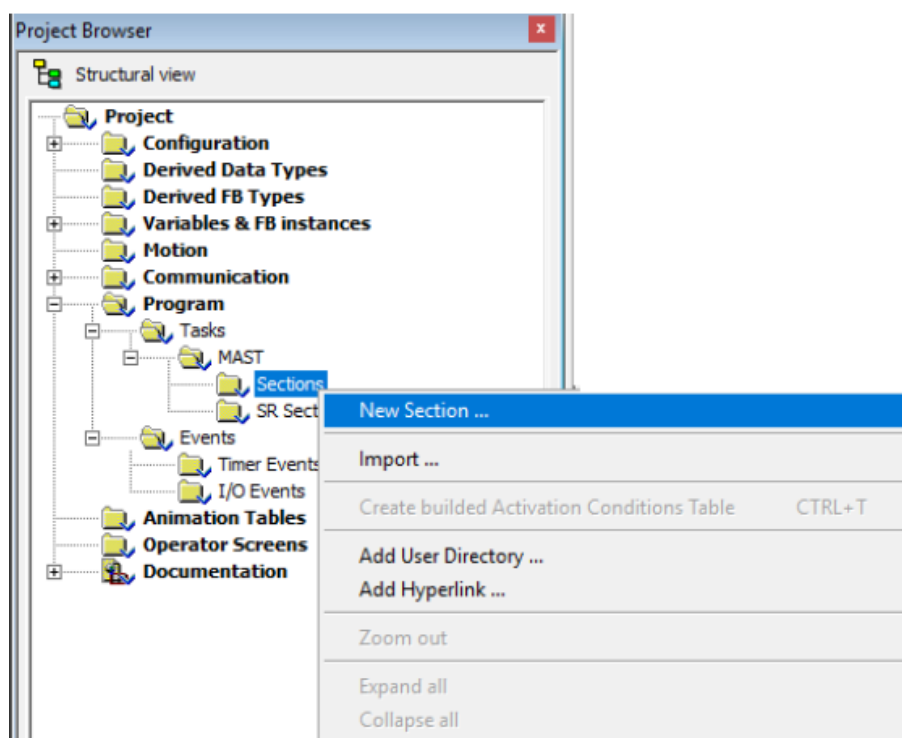
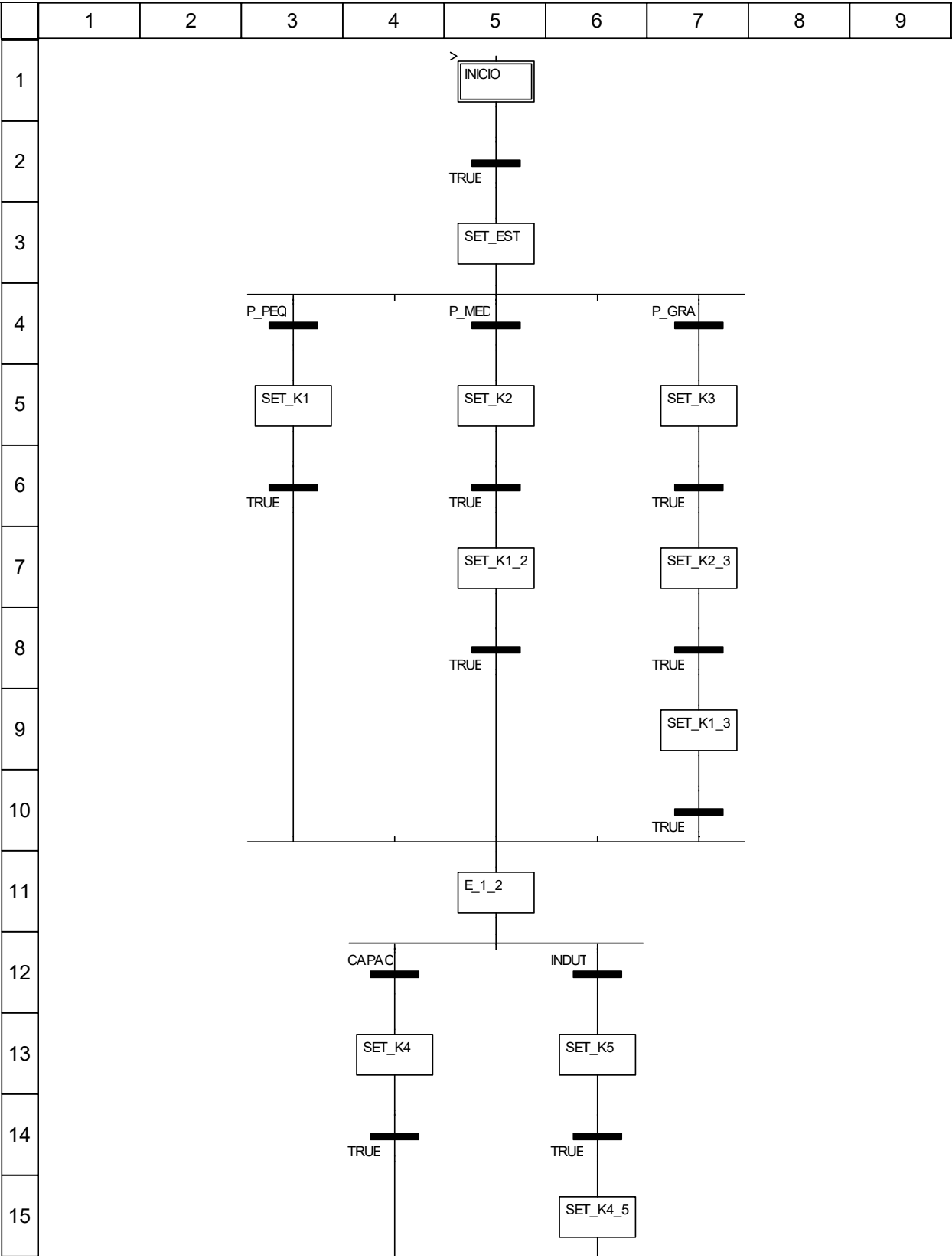


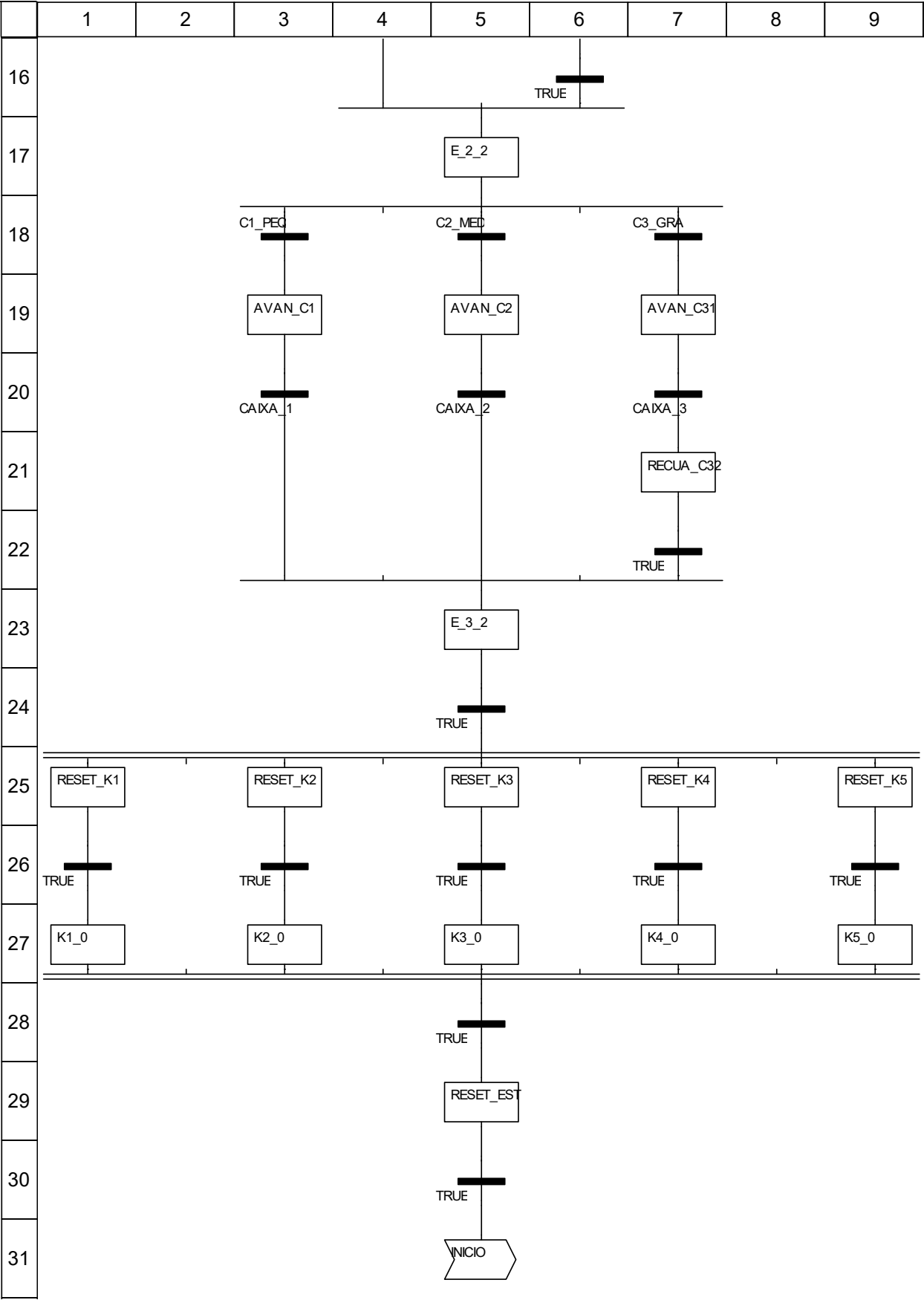
Figura 26 – Iniciando seção de início de programação. Fonte: Autoria própria.

- O CLP está todo configurado, é importante ressaltar que para o funcionamento correto do sistema, é necessário configurar o IP do computador em uso, enumere-o de acordo com a disponibilidade de IPs na rede local.

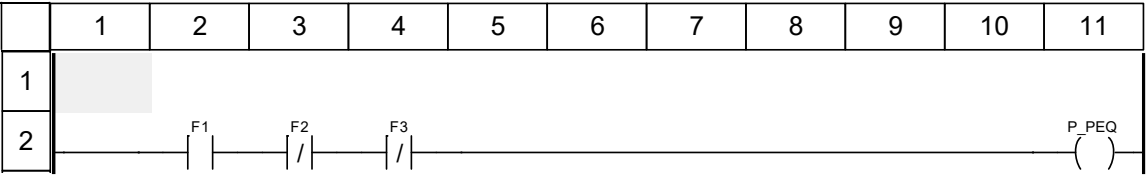
APÊNDICE B – GRAFCET (SFC)

Chart : [MAST - grafcet_separadora]

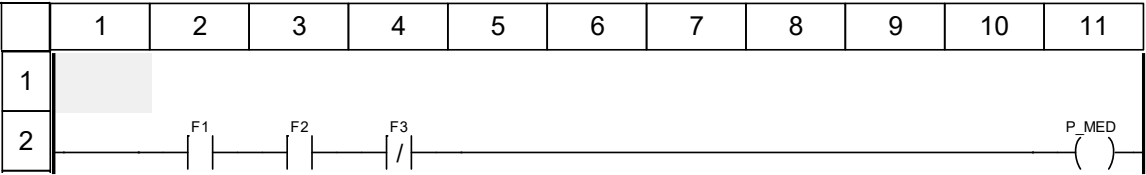




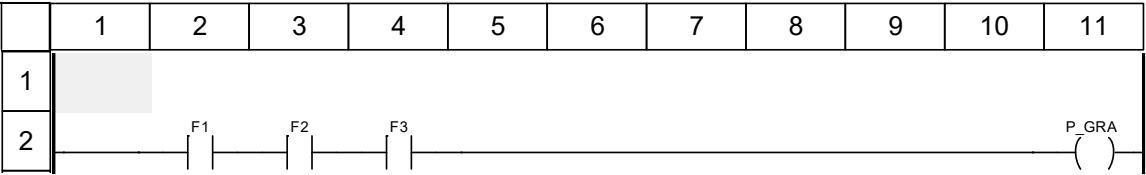
P_PEQ <Transition> : [MAST - grafcet_separadora]



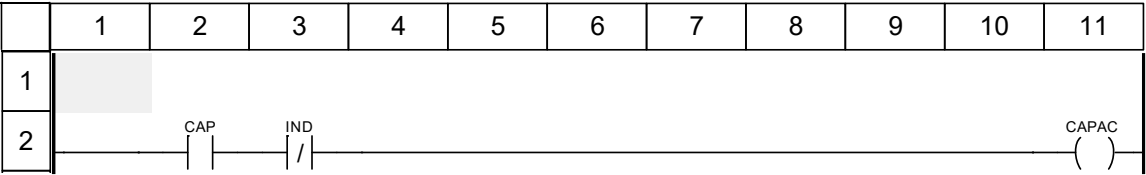
P_MED <Transition> : [MAST - grafcet_separadora]



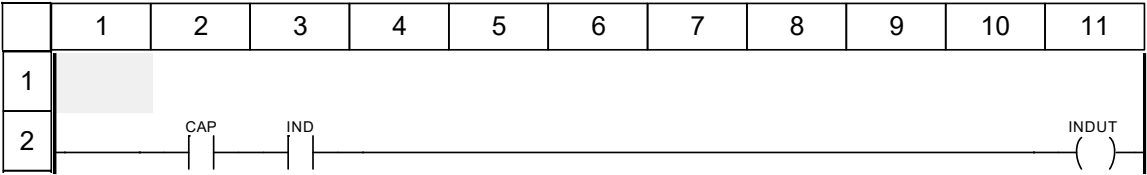
P_GRA <Transition> : [MAST - grafcet_separadora]



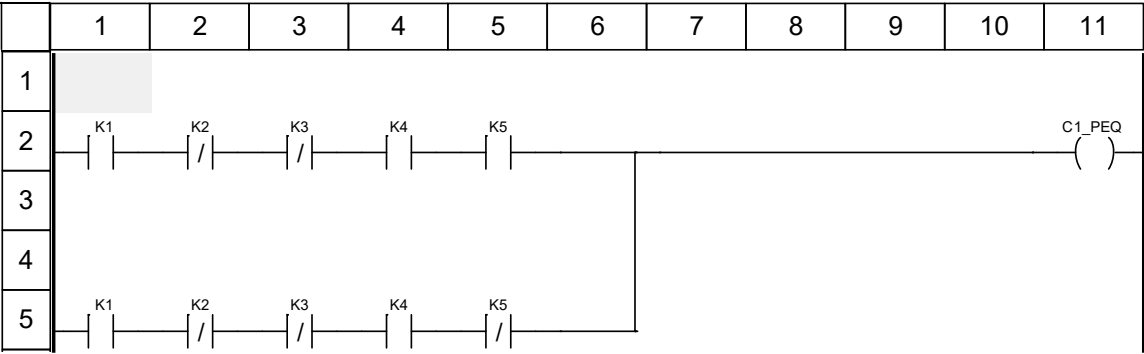
CAPAC <Transition> : [MAST - grafcet_separadora]



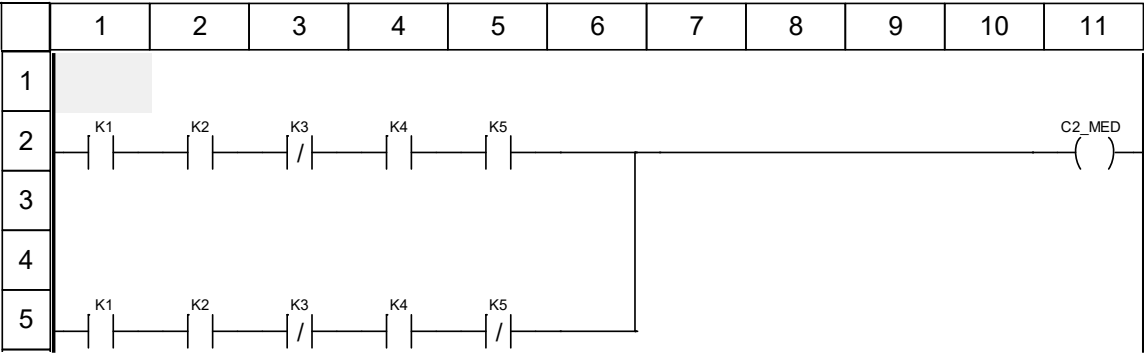
**INDUT <Transition> : [MAST -
grafcet_separadora]**



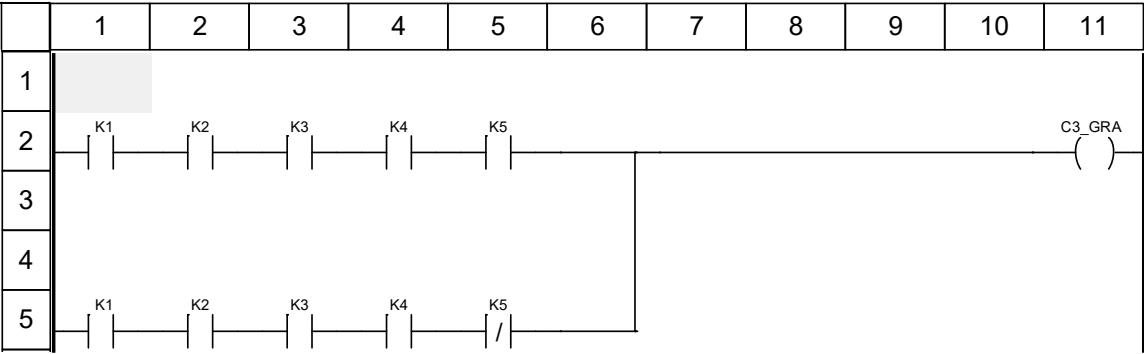
C1_PEQ <Transition> : [MAST - grafcet_separadora]



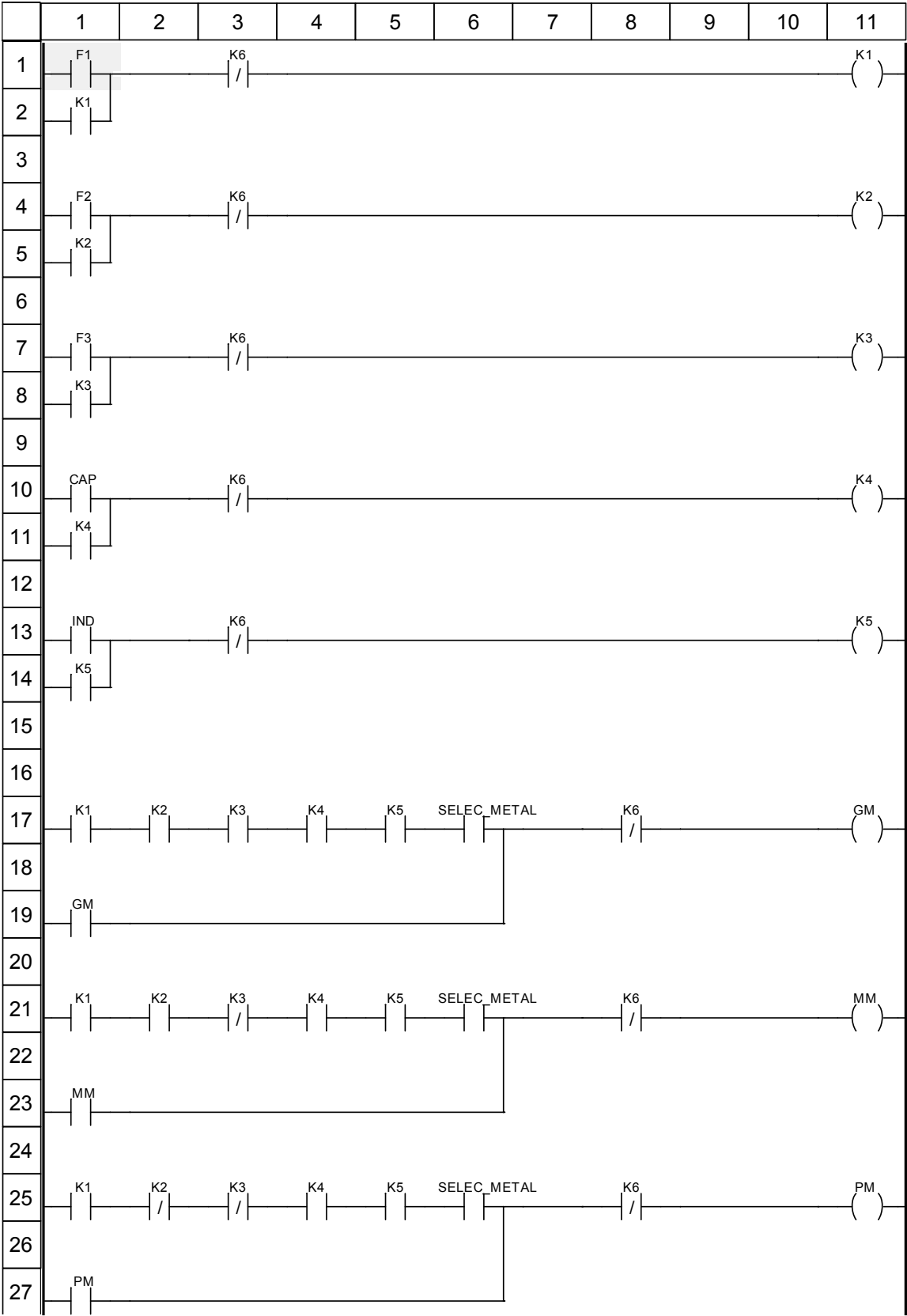
C2_MED <Transition> : [MAST - grafcet_separadora]

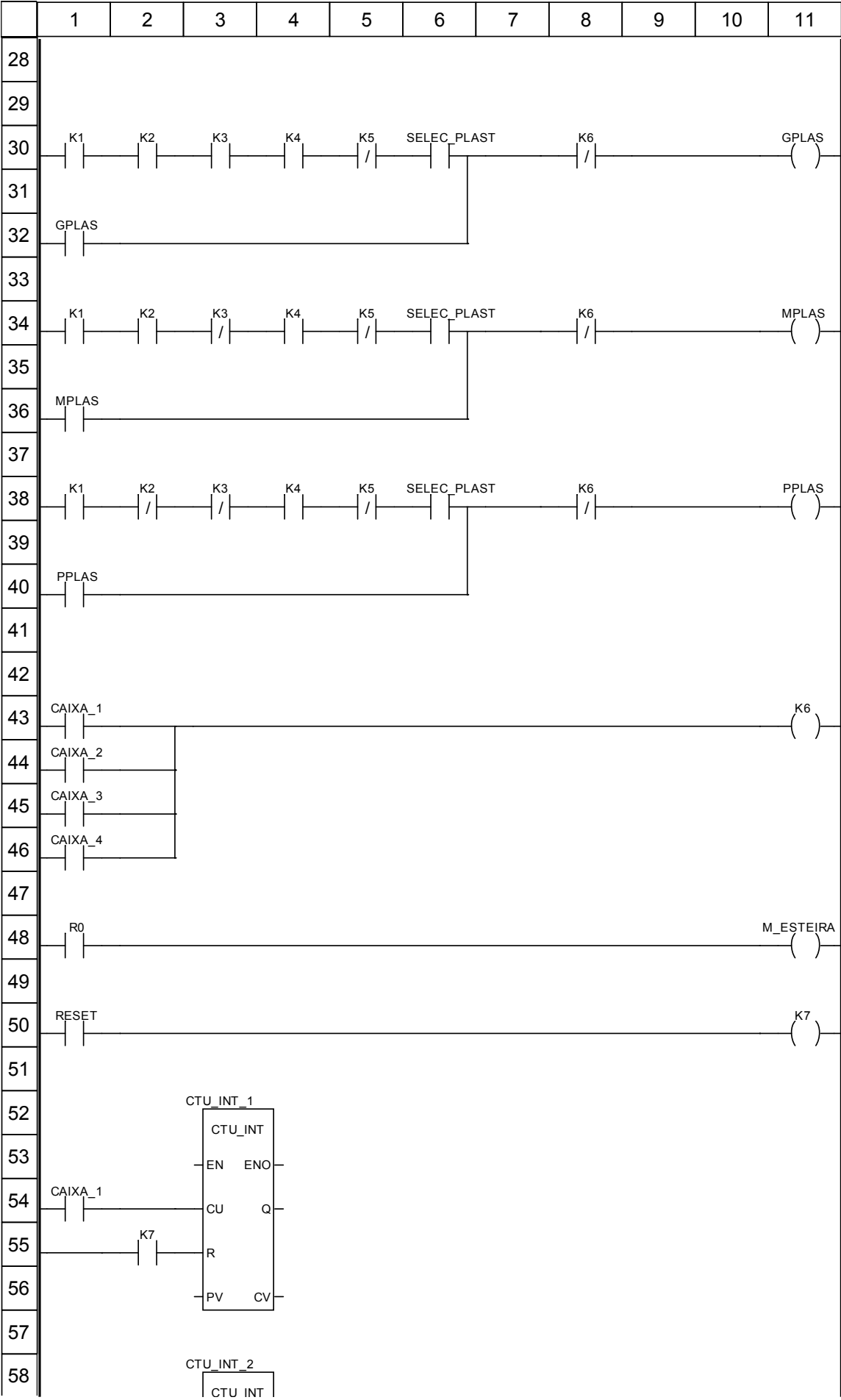


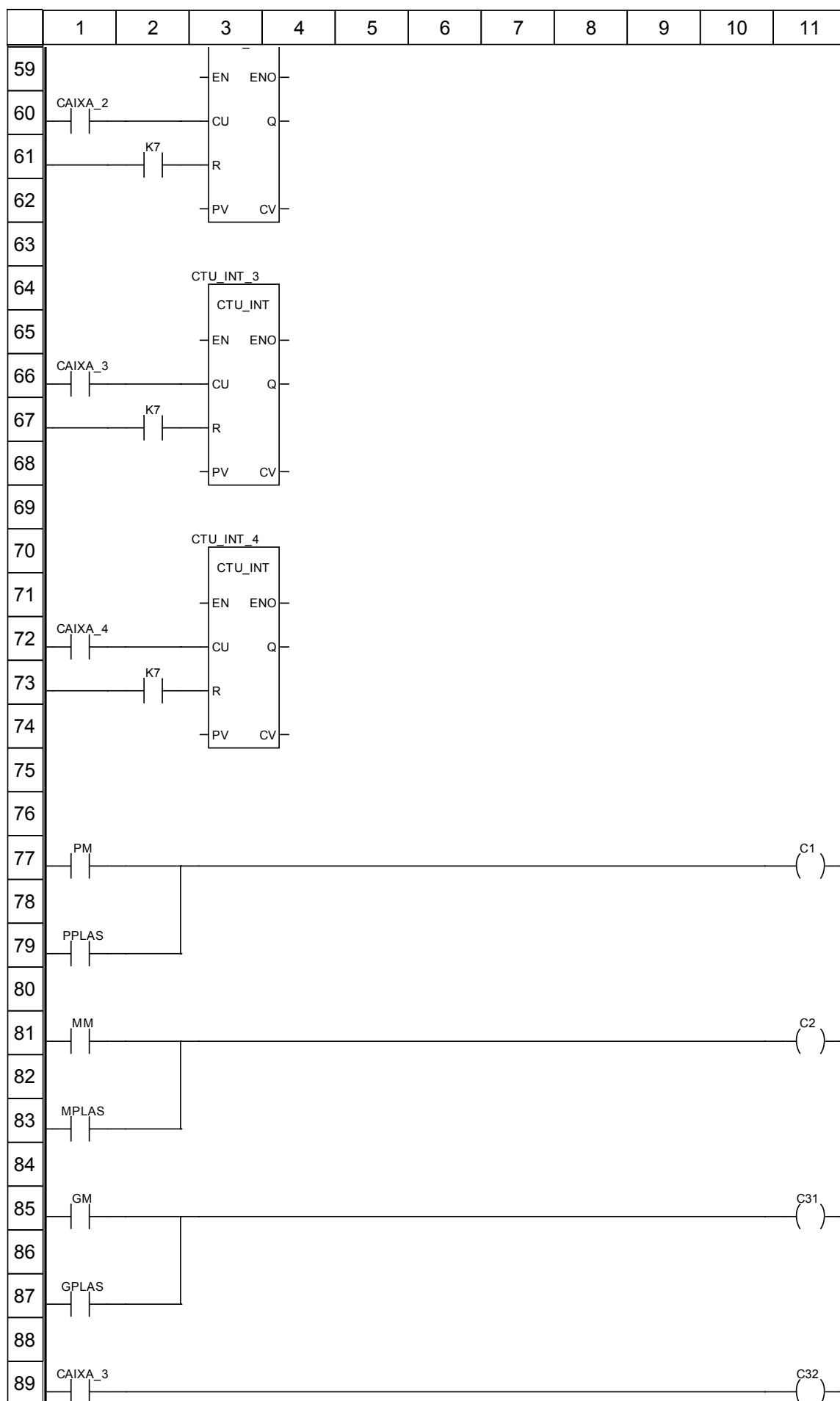
C3_GRA <Transition> : [MAST - grafcet_separadora]



APÊNDICE C – Ladder embarcado no CLP

esteira_separadora : [MAST]





APÊNDICE D – Configuração do Servidor OPC UA

- No menu lateral clicando em *Device overview* deve-se dar um nome ao dispositivo (CLP) na aba *Device name* em seguida deve ser informado o seu *IP Address* em *Device address 1* lembrando de manter o padrão conforme mostrado na seção 3.2 para o endereço IP.

Na aba *PLC Embedded Data* marque caso não estiver marcado as opções *Using Data Dictionary* e *No communication Break*. No ambiente *EcoStruxure OPC UA Server Expert Configuration Tool*, essas configurações foram habilitadas para otimizar a operação do servidor OPC UA.

A primeira opção viabiliza a incorporação do dicionário de dados do CLP, proporcionando ao cliente visibilidade sobre os tipos de variáveis utilizadas, incluindo estruturas e dados complexos. A segunda opção assegura a continuidade da comunicação durante eventos de atualização do dicionário, evitando falhas temporárias e melhorando a robustez no tempo de execução.

Na aba *Dynamic consistency* marque também a opção *New Symbol Detection* isso vai garantir que novas variáveis sejam automaticamente detectadas e disponibilizadas ao servidor OPC UA sem a necessidade de reinicialização ou intervenção manual no CLP.

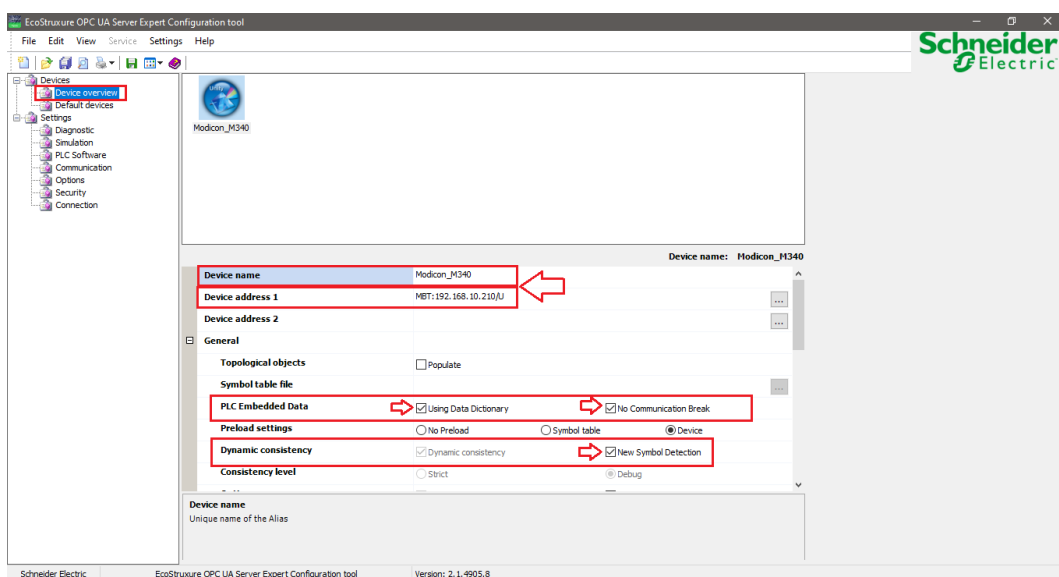


Figura 27 – Configuração inicial do servidor OPC UA no *EcoStruxure OPC UA Server Expert Configuration Tool*. Fonte: Autoria própria.

- Em seguida no menu lateral, clicando em *Security* vamos definir a política de segurança da comunicação entre CLP e Servidor OPC UA. Desmarque as demais opções e em *SecurityPolicy* marque *Allow "None"* na opção abaixo *Anonymous user token* marque *Allow*, isso vai garantir que não ocorram problemas de autenticação na comunicação entre o CLP e o servidor.

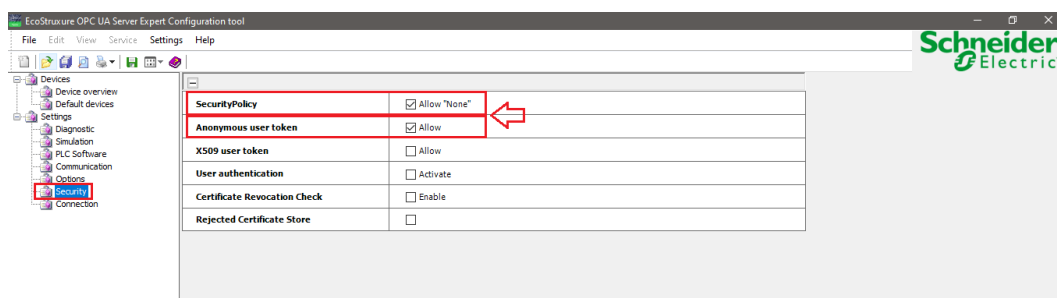


Figura 28 – Configuração de Segurança do servidor OPC UA no *EcoStruxure OPC UA Server Expert Configuration Tool*. Fonte: Autoria própria.

- Para configurar a conexão do servidor é necessário acessar no menu lateral em *Connection* e em *TCP Listening Port* adicionar uma porta disponível na rede. Para garantir uma porta TCP livre é importante clicar em *Check Availability* para ver se a porta escolhida está disponível.

Por fim, é muito importante salvar todas as configurações feitas para que o servidor seja iniciado com as configurações corretas.

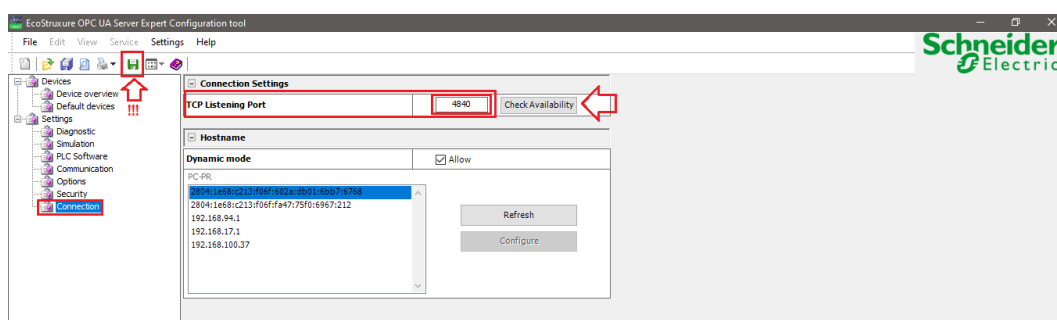


Figura 29 – Configuração de Conexão do servidor OPC UA no *EcoStruxure OPC UA Server Expert Configuration Tool*. Fonte: Autoria própria.

APÊNDICE E – Teste de Conexão CLP/Servidor OPC UA

O teste de conexão foi feito através de uma conexão cabeada de rede, usando o padrão RJ45 e um switch para conectar o computador e o CLP na mesma rede local. Isso permitiu que o servidor OPC UA se comunicasse entre os dois dispositivos. Portanto, é crucial que ambos os dispositivos, CLP e computador, estejam na mesma rede.

A Figura 30 é uma imagem da tela do *OPC UA Server Expert* onde é possível ver que as informações do CLP foram coletadas e agora estão acessíveis ao servidor OPC UA, também é disponibilizado o *EndpointURL* que é necessário para a conexão de um cliente ao servidor que agora está com status online.

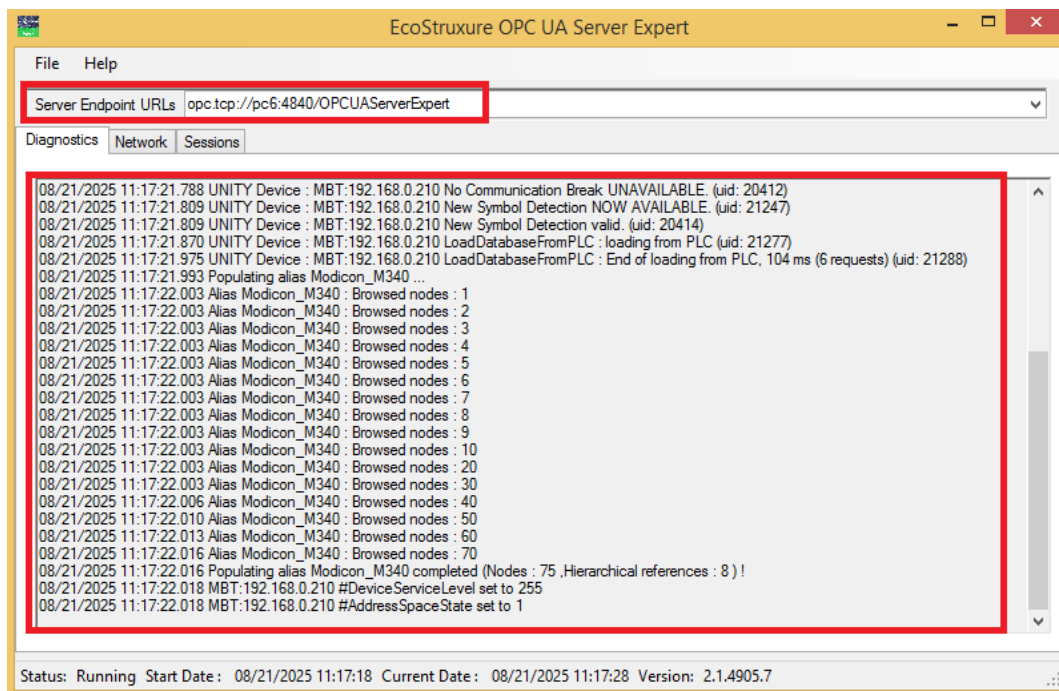


Figura 30 – Conexão do servidor OPC UA com o CLP. Fonte: Autoria própria.