



DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE APRENDIZAGEM EM AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

INÊS SILVA AZEVEDO

Setembro de 2025



DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE APRENDIZAGEM EM AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

Inês Silva Azevedo

**Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Mecânica, Área de Especialização em
Gestão Industrial**

Orientador: Professor Doutor Filipe Alexandre Pereira

Coorientador: Professor Doutor Adriano A. Santos

Júri:

Presidente:

José Mendes Machado, Professor associado com agregação, Universidade do Minho – Escola de Engenharia

Vogais:

Filipe Alexandre de Sousa Pereira, Professor Adjunto Convidado, ISEP

Adriano Manuel de Almeida Santos, Professor Adjunto, ISEP

Porto, setembro 2025

Agradecimentos

Gostaria de expressar o meu sincero agradecimento a todos quantos contribuíram com conhecimento, ajuda ou incentivo para a elaboração desta dissertação.

Agradeço, em primeiro lugar, ao meu orientador, Prof. Dr. Filipe Alexandre Pereira, pela disponibilidade, paciência e todo o apoio constante ao longo de todo o processo. Expresso também a minha gratidão ao meu coorientador, Prof. Dr. Adriano Santos, pelas sugestões valiosas, que foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

O meu agradecimento estende-se ao Laboratório de Automação e Robótica Industrial (LARI), pelo apoio disponibilizado através das suas instalações e recursos, fundamentais para a execução prática desta dissertação.

Um agradecimento especial à minha colega Margarida Pinto, que realizou em simultâneo a sua dissertação e me acompanhou ao longo de todo o processo, por todos os momentos partilhados, pela ajuda e pelo incentivo constante.

Finalmente, quero expressar a minha profunda gratidão à minha família, ao meu namorado e aos meus amigos, cujo apoio, paciência e motivação foram essenciais para que eu chegasse até aqui.

Resumo

As aplicações de automação na educação facilitam o processo de aprendizagem em diversos setores, desempenhando um papel crucial na formação de profissionais da área. Este projeto consistiu no desenvolvimento e implementação de uma bancada didática em automação, integrada com múltiplas tecnologias da Indústria 4.0 num único sistema modular e acessível, ainda pouco explorado em soluções comerciais e académicas, com o objetivo de apoiar o ensino e a aprendizagem. O sistema foi desenvolvido para colmatar lacunas identificadas noutros sistemas de aprendizagem, tanto comerciais como de instituições de ensino. A sua avaliação foi realizada através de exercícios práticos e inquéritos a utilizadores. Os resultados demonstram que a bancada constitui uma ferramenta eficaz para o ensino em automação industrial, adequada para apoiar utilizadores iniciantes e, simultaneamente, motivadora para utilizadores mais experientes. Assim, o trabalho evidencia que a solução desenvolvida destaca-se como uma alternativa mais completa e acessível, capaz de ampliar as oportunidades de ensino em automação industrial.

Palavras-chave: Automação, Bancada didática, Indústria 4.0, PLC, Educação, Engenharia

Abstract

Automation applications in education facilitate the learning process across various sectors, playing a crucial role in the training of professionals in the field. This project consisted of the development and implementation of a didactic automation workstation, integrating multiple Industry 4.0 technologies into a single modular and accessible system, still rarely explored in commercial and academic solutions, with the aim of supporting teaching and learning. The system was developed to address gaps identified in other learning systems, both commercial and educational. Its evaluation was carried out through practical exercises and user surveys. The results demonstrate that the workstation constitutes an effective tool for teaching industrial automation, suitable for supporting novice users while simultaneously motivating more experienced users. Thus, the work highlights that the developed solution stands out as a more complete and more accessible alternative, capable of expanding teaching opportunities in industrial automation.

KEYWORDS: Automation, Didactic bench, Industry 4.0, PLC, Education, Engineering

Índice

Lista de Figuras.....	xiii
Lista de Tabelas.....	xvi
Acrónimos e Símbolos.....	xviii
1. Introdução.....	1
1.1. Contextualização.....	1
1.2. Objetivos geral e específicos.....	1
1.3. Estrutura.....	2
2. Revisão Bibliográfica.....	3
2.1. Automação.....	3
2.1.1. Contextualização da automação de processos.....	3
2.1.2. Princípios da automação.....	3
2.1.3. Programação.....	4
2.2. Soluções da Indústria 4.0 para sistemas didáticos de automação.....	4
2.2.1. Integração de soluções em sistemas automáticos.....	4
2.2.2. Sistemas de visão artificial.....	5
2.2.3. Detecção de códigos OCR, 1D e 2D.....	5
2.2.4. Tecnologia <i>IO Link</i>	5
2.2.5. Acesso remoto.....	6
2.2.6. <i>Cloud</i> e base de dados.....	6
2.2.7. Cibersegurança.....	6
2.2.8. Estado da arte.....	7
2.3. Soluções de automação para ensino.....	9
2.3.1. Visão geral das soluções disponíveis.....	9
2.3.2. <i>Softwares</i> de automação de apoio ao ensino.....	10
2.3.3. Comunicação em sistemas de automação.....	11
2.3.4. Soluções comerciais disponíveis.....	12
2.3.4.1. Fabricante Festo Inc.....	13
2.3.4.2. Fabricante SMC.....	14
2.3.4.3. Fabricante Exsto.....	17
2.3.5. Sistemas de aprendizagem de automação industrial no ensino superior.....	18
2.3.6. Análise crítica.....	22
3. Metodologia.....	25
3.1. Abordagem adotada.....	25
3.2. Ferramentas e tecnologias utilizadas.....	25
3.3. Planeamento do desenvolvimento.....	25

3.4. Estratégia de testes e validação	26
4. Desenvolvimento	27
4.1. Especificações funcionais e técnicas	27
4.1.1. Especificações funcionais.....	27
4.1.1.1. Programação e operação do PLC.....	28
4.1.1.2. Interação com a HMI	28
4.1.1.3. Controlo de sensores e atuadores.....	28
4.1.1.4. Comando de servo drive e motor com variador de velocidade	28
4.1.1.5. Comunicação Industrial com Flexy 205	29
4.1.1.6. Botões e LEDs	29
4.1.2. Especificações técnicas	29
4.2. Arquitetura do sistema	30
4.2.1. Estrutura da bancada didática	31
4.2.1.1. Elementos estruturais.....	32
4.2.2. Equipamentos	34
4.2.3. <i>Softwares</i>	36
4.3. Integração de componentes	37
4.3.1. Organização dos equipamentos na bancada	37
4.3.2. Integração física e lógica dos componentes	37
4.3.3. Protocolos de comunicação utilizados.....	41
4.3.4. Validação do funcionamento integrado	41
4.4. Programação e interface com o utilizador	44
4.5. Comunicação entre módulos e acesso remoto.....	45
4.6. Desafios enfrentados e como foram resolvidos.....	46
5. Resultados.....	49
5.1. Protótipo desenvolvido	49
5.2. Testes realizados e respetivos resultados.....	50
5.2.1. Testes realizados.....	50
5.2.2. Resultados obtidos.....	51
5.2.2.1. Análise de perfil	52
5.2.2.2. Organização da atividade	53
5.2.2.3. Conteúdo técnico	55
5.2.2.4. Experiência vs. Dificuldade	58
5.2.2.5. Desenvolvimento pessoal.....	58
5.2.2.6. Experiência vs. Desafio e Experiência vs. Capacidade.....	60
5.2.2.7. Exercícios resolvidos vs. Confiança.....	62
5.2.2.8. Ergonomia e envolvimento emocional.....	62
5.3. Comparação com objetivos definidos.....	63
6. Discussão.....	67

6.1. Análise crítica	67
6.2. Limitações do sistema	68
6.3. Feedback dos utilizadores	69
7. Conclusões e Trabalhos Futuros	71
7.1. Conclusões finais	71
7.2. Trabalhos futuros	71
Referências.....	75
Declaração de Integridade	81
Apêndice A	83
Apêndice B	85
Apêndice C	97
Apêndice D.....	195
Apêndice E.....	221
Glossário.....	227

Lista de Figuras

Figura 1 – Componentes principais e funcionamento de um Sistema de Controlo Industrial [23]	7
Figura 2 – Fábrica de aprendizagem MPS 404-1 [42]	13
Figura 3 – Edição especial FAS-200 [46]	15
Figura 4 - FAS-209 SE I4.0 [47]	15
Figura 5 – FAS-210 SE I4.0: (a) Opção pneumática, (b) opção robô colaborativo [47]	16
Figura 6 - FAS-216 SE I4.0 [47]	16
Figura 7 - FAS-200 SE I4.0 [47]	17
Figura 8 - XC133 – Banco de Ensaios para PLC ROCKWELL (MICRO-850) [48]	17
Figura 9 - Célula electropneumática robótica [53]	18
Figura 10 – Laboratório remoto de automação industrial IST [54]	19
Figura 11 - Kit didático: Casa inteligente UM [55]	20
Figura 12 – Simulador didático para sistemas de tratamento de água [56]	21
Figura 13 – Bancada didática para ensino de automação DEE [1]	22
Figura 14 – Modelo 3D da bancada didática	31
Figura 15 - Bancada dividida por zonas	32
Figura 16 – Perfil técnico de alumínio 45x45 [59]	33
Figura 17 – Parafuso S12x30 [60]	33
Figura 18 – Esquadro 45x45 (modelo 3D do SolidWorks)	33
Figura 19 – Parafusos cabeça de martelo M8x25 [61]	34
Figura 20 – Calha DIN [63]	34
Figura 21 – Calha de PVC para cabos [64]	34
Figura 22 - Organização dos componentes na bancada	37
Figura 23 - Numeração das fontes de alimentação	38
Figura 24 - Numeração dos PLCs	39
Figura 25 – Componentes associados ao PLC 1	39
Figura 26 – Componentes associados ao PLC 2	40
Figura 27 - Componentes associadas ao PLC 3	40
Figura 28 Equipamento eletricamente alimentado	41
Figura 29 – Simulação e teste da lógica entre entradas e saídas digitais do PLC 3	42
Figura 30 - Simulação da lógica entre entradas e saída analógica do PLC 2	43
Figura 31 – Equipamentos ligados para validação das variáveis analógicas	43
Figura 32 - Teste na interface	44
Figura 33 - LED amarelo ativo	44
Figura 34 - Configuração inicial dos equipamentos no NB-Designer	45
Figura 35 - Esquema das comunicações entre módulos via Ethernet/IP	46
Figura 36 - Esquema das comunicações entre módulos via EtherCAT	46
Figura 37 - Bancada didática	49
Figura 38 - Zona A da bancada didática	50
Figura 39 - Gráfico de distribuição de idades	52

Figura 40 - Gráfico de distribuição do nível de experiência prévia.....	52
Figura 41- Quadro resumo das estatísticas - Análise de Perfil.....	53
Figura 42 - Gráficos de análise da organização da atividade	54
Figura 43 - Quadro resumo das estatísticas - Organização da atividade	55
Figura 44 - Gráfico de dificuldade média pro exercício	56
Figura 45 – Gráfico de distribuição da resolução dos exercícios	56
Figura 46 - Avaliação dos conteúdos técnicos	57
Figura 47 - Quadro resumo das estatísticas - Conteúdo técnico	57
Figura 48 - Gráfico de Experiência vs. Dificuldade	58
Figura 49 - Código numérico associado às respostas das questões 13 a 17	59
Figura 50 - Gráfico da visão global do desenvolvimento pessoal	59
Figura 51 - Quadro resumo das estatísticas - Desenvolvimento pessoal	59
Figura 52 - Gráfico de Experiência vs. Desafio	60
Figura 53 -Gráfico de proporção do nível de desafio por nível de experiência prévia	61
Figura 54 - Gráfico de experiência vs. Capacidade	61
Figura 55 - Gráfico de Exercícios resolvidos vs. Melhoria da Confiança	62
Figura 56 - Código associado às opções de resposta das perguntas 18, 21 e 22.....	63
Figura 57 - Quadro resumo das estatísticas - Ergonomia e Envolvimento pessoal	63

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Casos de estudo de soluções utilizadas em sistemas automáticos	7
Tabela 2 – Tabela resumo das soluções de comerciantes	23
Tabela 3 - Tabela de comparação de sistemas de automação do ensino superior	23
Tabela 4 - Tabela de equipamentos	35
Tabela 5 - Comparação das tecnologias presentes nas soluções comerciais e na bancada didática desenvolvida	64
Tabela 6 - Comparação das tecnologias presentes nos sistemas de outras instituições de ensino e na bancada didática desenvolvida	65

Acrónimos e Símbolos

Lista de Acrónimos

CC	Corrente Contínua
CNC	<i>Computer Numeric Control</i>
DEE	Departamento de Engenharia Eletrotécnica
DIN	Deutsches Institut für Normung
FBD	<i>Function Block Diagram</i>
HMI	<i>Human Machine Interface</i>
I/O	<i>Input/Output</i>
ICS	<i>Industrial Control Systems</i>
IDE	<i>Integrated Development Environment</i>
IIoT	<i>Industrial Internet of Things</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
ISEL	Instituto Superior de Engenharia de Lisboa
ISEP	Instituto Superior de Engenharia do Porto
IST	Instituto Superior Técnico
LARI	Laboratório de Automação e Robótica Industrial
LD	<i>Ladder Diagram</i>
LED	<i>Light Emitting Diode</i>
MES	<i>Manufacturing Execution System</i>
OCR	<i>Optical Character Recognition</i>
OPC	<i>Open Platform Communications</i>
OPC UA	<i>Open Platform Communications Unified Architecture</i>
PLC	<i>Programmable Logic Controller</i>
QR Code	<i>Quick Responde Code</i>
RFID	<i>Radio Frequency Identification</i>
RTU	<i>Remote Terminal Unit</i>
SCADA	<i>Supervisory Control And Data Acquisition</i>
SCL	<i>Structure Control Language</i>
SFC	<i>Sequential Function Chart</i>

SMC	<i>Sintered Metal Corporation</i>
SQL	<i>Structured Query Language</i>
ST	<i>Structure Text</i>
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i>
TIC	Tecnologias da Informação e Comunicação
UM	Universidade do Minho
USB	<i>Universal Serial Bus</i>

1. Introdução

As aplicações de automação na educação facilitam o processo de aprendizagem nos vários setores onde podem ser aplicadas, desempenhando um papel crucial na formação dos profissionais da área.

1.1. Contextualização

A automação é um processo que visa minimizar a intervenção humana na realização de tarefas, utilizando diferentes tecnologias e sistemas. É utilizada em diversas áreas dos setores industrial (comumente em linhas de produção), comercial e doméstico (por exemplo, no controle de iluminação e climatização). O seu principal objetivo é aumentar a eficiência, reduzir erros e otimizar recursos. No ensino, as soluções didáticas de automação têm grande importância na formação de profissionais, permitindo-lhes ser facilmente inseridos no mercado de trabalho, levando consigo conhecimento acadêmico e científico e, assim, atender às necessidades da sociedade e da indústria.

Do ponto de vista comercial, a oferta de bancadas didáticas é bastante diversificada, no entanto essas soluções apresentam custos elevados. Adicionalmente, requerem manutenção especializada, o que torna esta opção ainda mais onerosa para as instituições, e a assistência técnica pode revelar-se morosa. Acresce que nem sempre essas soluções dão resposta às necessidades do programa letivo. Assim, a concepção e desenvolvimento de uma bancada didática pela própria instituição constituem uma mais-valia para colmatar os problemas descritos.

A presente dissertação tem como objetivo o desenvolvimento de uma bancada didática que integre equipamentos e tecnologias atuais, respondendo simultaneamente às necessidades específicas do currículo da instituição. Com esta abordagem, procura-se conceber uma solução capaz de assegurar um processo de ensino-aprendizagem em automação de elevada qualidade, recorrendo às tecnologias mais utilizadas na indústria, mas com custos mais acessíveis.

1.2. Objetivos geral e específicos

Este projeto tem como objetivo principal o desenvolvimento e implementação de uma bancada didática destinada a apoiar o processo de ensino-aprendizagem na área da automação, integrando tecnologias associadas à Indústria 4.0.

Introdução

De modo a assegurar a concretização do objetivo geral, foram definidos objetivos específicos destinados a orientar o processo de implementação e de validação do projeto:

- Identificar as principais lacunas presentes em soluções comerciais e nos sistemas de aprendizagem em automação criados por instituições de ensino;
- Selecionar dispositivos comerciais que respondam às necessidades do ensino, integrando diferentes tecnologias da Indústria 4.0;
- Executar os trabalhos de instalação, montagem, projeto e programação necessários ao pleno funcionamento da bancada didática;
- Desenvolver exercícios práticos de automação a serem realizados por diferentes utilizadores;
- Avaliar a utilidade da bancada, a adequação dos *softwares* utilizados e o grau de dificuldade dos exercícios propostos, por meio da aplicação de inquéritos;
- Elaborar um manual de utilização.

1.3. Estrutura

Esta dissertação está dividida em sete capítulos: Introdução, Revisão Bibliográfica, Metodologia, Desenvolvimento, Resultados, Discussão e, finalmente, Conclusões e Trabalhos Futuros.

O primeiro capítulo fornece o enquadramento do tema, apresenta os objetivos do estudo e descreve a estrutura do documento. O segundo capítulo dedica-se à revisão bibliográfica. No terceiro capítulo é apresentada a metodologia adotada para o desenvolvimento do projeto. O quarto capítulo descreve detalhadamente o desenvolvimento do trabalho. Nos capítulos cinco e seis, são apresentados e discutidos os resultados, respetivamente. Por fim, o sétimo capítulo apresenta as conclusões do estudo e sugere possíveis direções para trabalhos futuros.

2. Revisão Bibliográfica

Neste capítulo será apresentada a pesquisa bibliográfica realizada, que fundamenta o estudo sobre o desenvolvimento de uma bancada didática de automação e exposto o estado da arte. No final, será realizada a análise crítica da mesma.

2.1. Automação

Neste subcapítulo será abordado, de forma breve, o conceito de automação, com foco no seu contexto, princípios e na relação com a programação.

2.1.1. Contextualização da automação de processos

A automação de processos integra diferentes tecnologias de software e hardware que se complementam e que ligam, de forma equilibrada, todas as partes de um sistema, de modo a tornar os processos automáticos e reduzir ou eliminar o uso de mão de obra humana, principalmente em setores em que o ambiente não é seguro e as tarefas colocam em perigo o trabalhador [1][2]. Para além disso, procura otimizar os procedimentos dos processos com o propósito de reduzir custos, bem como otimizar tempo e recursos, melhorar a qualidade, minimizar erros e interligar sistemas produtivos [2].

A automação de processos pode ser aplicada em diversas áreas, seja na indústria, no comércio ou até em habitações [3]. Com o aumento da importância da mesma na indústria e com a constante evolução da tecnologia, torna-se essencial o ensino-aprendizagem da automação em contexto académico [1]. Kits ou bancadas didáticas são soluções amplamente usadas, uma vez que permitem, aos futuros engenheiros, conhecer os processos industriais ao mesmo tempo que testam os seus conhecimentos teóricos e práticos [1].

2.1.2. Princípios da automação

A automação refere-se à utilização de sistemas baseados em controladores automáticos, robôs e tecnologias de informação para operar processos, dispositivos, máquinas ou sistemas na indústria, em serviços ou em residências [4]. Esses sistemas e tecnologias incluem a troca de dados em tempo real, melhorando a capacidade de resposta e a eficiência dos equipamentos industriais; a integração entre dispositivos e sistemas, que promove maior produtividade e

eficiência operacional e possibilita que os sistemas automatizados possam estar todos interligados; controlo constante, fundamental para otimizar processos e realizar manutenção preventiva e/ou preditiva; e adaptabilidade, permitindo que o sistema se ajuste rapidamente às necessidades, em tempo real [5].

2.1.3. Programação

Os conceitos de programação e automação estão fortemente ligados [6]. A programação de sistemas de automação consiste no desenvolvimento e controlo de sistemas automatizados [7]. Ainda que existam outras, a ferramenta mais utilizada na programação de um sistema automático é o PLC (*Programmable Logic Controller*) (normalmente programado em linguagem *Ladder*), que tem a capacidade de ser programado e controlado remotamente [8]. Os PLCs são utilizados para comunicarem com sensores e atuadores [9], sendo, muitas vezes, integrados em sistemas para controlar robôs, equipamentos CNC (*Computer Numeric Control*) ou em vários outros sistemas de automação [8].

A programação tem o propósito de aumentar a produtividade, enquanto reduz custos, bem como melhorar a eficiência (com a redução de erros), a precisão, a flexibilidade e a autonomia na tomada de decisões do sistema [6][7][8][10].

2.2. Soluções da Indústria 4.0 para sistemas didáticos de automação

Neste subcapítulo são abordadas as principais tecnologias e ferramentas presentes nos sistemas didáticos de automação e respetivas contribuições para o ensino e inovação.

2.2.1. Integração de soluções em sistemas automáticos

Ao longo dos anos, a automação sofreu várias mudanças e à medida que evolui vai integrando diferentes soluções e tecnologias [5]. A integração de HMIs (*Human Machine Interfaces*), sensores e atuadores revolucionaram a interligação de máquinas e sistemas e a recolha de dados de ativos físicos [5]. Mais tarde, a integração de *digital twins* permitiu a troca de dados sincronizada, o que melhora o controlo e a otimização dos sistemas [5]. Atualmente, a IoT (*Internet of Things*) e a Indústria 4.0 promovem o uso de sistemas ciberfísicos com computação em nuvem e inteligência artificial para aumentar a eficiência e possibilitar decisões em tempo real [5], bem como o uso da visão artificial para que o sistema seja capaz de processar e compreender imagens e vídeos [11].

Com o COVID-19, o uso do acesso remoto tornou-se mais importante, de modo a possibilitar o uso das soluções didáticas de outra forma que não presencialmente [1].

Estas e outras soluções são, muitas vezes, integradas em sistemas automáticos, bem como em sistemas didáticos de automação.

2.2.2. Sistemas de visão artificial

A visão artificial é a “ciência de programar um computador para processar imagens ou vídeos e até mesmo compreendê-los” [11], pelo que é permitido às máquinas simular a visão humana para interpretar e processar imagens ou vídeos utilizando câmaras e sensores. A visão artificial pode ser utilizada em diversas áreas. Na área da automação industrial, os sistemas de visão artificial tornaram-se essenciais, uma vez que podem melhorar significativamente a precisão e eficiência da deteção de defeitos [12]. Comparando com a inspeção manual, permitem detetar de forma mais rápida e precisa a aparência dos defeitos e determinar se o produto é defeituoso ou não [12]. Os sistemas de visão artificial também podem ser aplicados em sistemas robóticos colaborativos [13]. Essa aplicação irá permitir que o robô reconheça a orientação, a posição e até a cor do objeto [13]. Isto é útil em processos industriais como o *Pick & Place*, uma vez que torna as tarefas dos *cobots* mais precisas e possibilita o ajuste das suas operações em tempo real [13].

2.2.3. Deteção de códigos OCR, 1D e 2D

Os códigos OCR (*Optical Character Recognition*) é a tecnologia que permite recolher e armazenar, de forma automática, informação de ficheiros de imagem, com o objetivo de transformar texto em imagens ou documentos em formato digital, para que as máquinas possam reconhecer texto com maior facilidade [14]. Os códigos 1D e 2D têm como objetivo armazenar qualquer tipo de dados ou informações [15]. Os códigos 1D são os conhecidos códigos de barras, que armazenam informação apenas na direção horizontal (até 20 caracteres) e os códigos 2D são códigos de barra bidimensionais, ou seja, armazenam informação nas direções horizontal e vertical (até 7100 caracteres) [15]. Um exemplo de código 2D é o QR (*Quick Response*) code [15].

2.2.4. Tecnologia *IO Link*

A tecnologia *IO Link* pode ser considerada como primeira tecnologia padrão (conforme IEC 61131-9) para sensores e atuadores [16]. Utiliza comunicação ponto a ponto baseada na conexão de longo alcance entre sensores e atuadores de três fios, sem a necessidade de cabos especiais [16]. Esta tecnologia é um protocolo de comunicação aberto que permite a troca de informação tanto entre dispositivos *I/O* (*Input/Output*) (sensores e atuadores) como com o sistema de controlo, o que torna possível ter uma visão geral do sistema e dos dispositivos em tempo real, por forma a garantir a estabilidade das operações [16]. Isto é possível, porque os dispositivos *I/O* estão ligados a um master *IO Link*, que é responsável por estabelecer o contacto entre os dispositivos *I/O* e os sistemas de comunicação superiores [16]. O master *IO Link* pode ser integrado em diversos protocolos de comunicação e instalado no painel de controlo ou remotamente [16].

2.2.5. Acesso remoto

O acesso remoto é uma tecnologia possível graças à internet [17]. Pode ser utilizada em diversas áreas, tendo sido aplicada, com maior frequência, na indústria depois da pandemia do COVID-19 [18]. Na educação, serve como suporte para o ensino à distância, permitindo aos alunos realizar e monitorar o trabalho remotamente [17]. O uso do acesso remoto é possível com diferentes tecnologias [18].

2.2.6. Cloud e base de dados

A tecnologia de *Cloud* e base de dados pode servir várias funções, como o controlo, o registo e o gerenciamento de ativos e pode ser usada como backup dos controladores físicos, para gerir sistemas, temporariamente, enquanto os controladores físicos estão a ser avaliados ou a ser substituídos. Pode, ainda, ser utilizada em empresas, com recurso a nuvens privadas, para centralizar as funcionalidades de automação num único data center [19]. As bases de dados estão, normalmente, inseridas na *Cloud* e são ligadas a esta através do *digital twin* do dispositivo físico [20]. Na indústria, o armazenamento de dados e a análise da *Cloud* promovem melhorias tanto na máquina como no desempenho da produção [20]. O uso da *Cloud* é possível via Internet e permite a interligação entre dados históricos e dados reais, o que promove maior escalabilidade do sistema, enquanto os sistemas de base de dados centralizam o armazenamento e gerem os dados recolhidos, permitindo acompanhar e analisar todos os dados recolhidos [21].

2.2.7. Cibersegurança

A Cibersegurança é um conjunto de medidas e tecnologias, cujo objetivo é proteger sistemas computacionais contra acessos interditos que possam resultar em roubo ou alteração de informações, na interrupção ou alteração de funções críticas ou na execução de ações que prejudiquem o sistema [22].

O uso do acesso remoto em soluções de automação industriais, assim como o a ligação destas à Internet resulta em vários benefícios, no entanto torna as soluções fortemente suscetíveis a ataques cibernéticos [23]. Deste modo, é importante proteger os ICSs (*Industrial Control Systems*) de ameaças cibernéticas [23]. O ICS abrange vários sistemas de controlo e os equipamentos necessários para monitorá-los [23]. Este sistema abrange uma ampla variedade de equipamentos, redes, sistemas e dispositivos, cujo propósito é gerir e automatizar processos industriais [23]. Na Figura 1 é apresentada uma visão geral dos componentes principais e do funcionamento de um ICS.

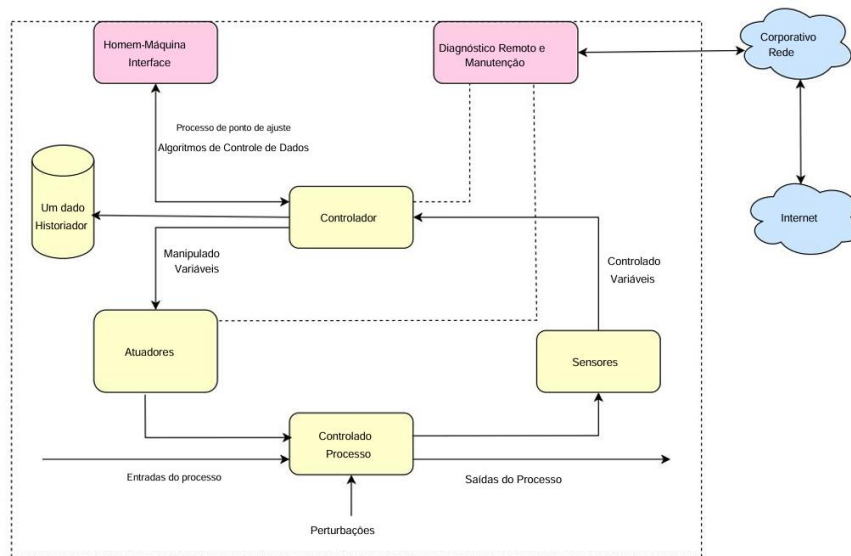


Figura 1 – Componentes principais e funcionamento de um Sistema de Controlo Industrial [23]

2.2.8. Estado da arte

Na Tabela 1 são apresentados alguns casos de estudo que mostram de que forma cada solução contribui para o ensino e/ou para a inovação da automação industrial.

Tabela 1 – Casos de estudo de soluções utilizadas em sistemas automáticos

Soluções	Referência	Objetivo	Conclusão
Sistemas de Visão Artificial	[24]	Neste artigo foi projetado um sistema experimental para o controlo de movimento servo visual em robôs industriais, constituído por um robô, um sistema de visão e uma bancada de trabalho. O caso de estudo teve como principal objetivo avaliar a eficácia do planeamento de trajetórias do robô a partir da análise de imagens do perfil de superfície de peças de trabalho, obtidas através do sistema de visão.	O sistema demonstrou capacidade de aplicação em diferentes tarefas no domínio da automação e da robótica, nomeadamente na análise da cinemática de robôs, no planeamento de trajetórias e na inspeção visual. Estas tarefas assumem relevância tanto no âmbito da investigação científica como nos processos de ensino-aprendizagem em automação e robótica.

<p>Deteção de códigos OCR, 1D e 2D</p>	<p>[25] Neste artigo a proposta era desenvolver um método capaz de realizar a leitura simultânea de diferentes tipos de códigos (1D, 2D, Qr, entre outros), com vista à sua implementação num sistema de faturação e de gestão de inventário de um supermercado. O objetivo principal consistiu na redução do tempo de processamento e na melhoria da eficiência, em comparação com os scanners tradicionais.</p>	<p>O método demonstrou eficácia com a apresentação de bons resultados. Apesar da ocorrência de falhas na deteção de alguns códigos, o sistema revelou-se uma alternativa prática e economicamente vantajosa. Os códigos de barra e outros estão presentes em várias áreas da indústria, pelo que, o estudo, embora direcionado para o comércio, evidencia como a utilização de bons sistemas de deteção pode contribuir para a melhoria de sistemas e para a redução de custos.</p>
<p>Tecnologia <i>IO Link</i></p>	<p>[16] Este caso de estudo tem como propósito expor as melhorias alcançadas através da implementação de sistemas <i>IO Link</i>, neste caso, aplicados a uma empresa do setor de máquinas de embalagem.</p>	<p>Os resultados obtidos permitiram provar que o sistema <i>IO Link</i> se caracteriza pela sua versatilidade e pela compatibilidade com diferentes protocolos de comunicação. Adicionalmente, verificou-se que a implementação desta tecnologia possibilita o desenvolvimento de plantas inteligentes, capazes de realizar autodiagnóstico, interagir com sistemas de manutenção e beneficiar da recolha de dados para suportar a melhoria contínua dos processos. A tecnologia <i>IO Link</i> facilita, ainda, a substituição e a configuração de dispositivos, através de parametrização automática.</p>
<p>Acesso remoto</p>	<p>[17] O tempo e a disponibilidade constituem os principais desafios que os estudantes enfrentam no acesso aos laboratórios ou equipamentos de uma instituição. De forma a mitigar esse problema, foi desenvolvida uma solução que possibilita o acesso remoto aos laboratórios, recorrendo a tecnologias de acesso remoto.</p>	<p>Foi desenvolvido um sistema que disponibiliza ao utilizador o acesso remoto ao laboratório físico, possibilitando a sua utilização a partir de qualquer local e em qualquer momento.</p>

<p><i>Cloud</i> e Base de dados</p>	<p>[19] Este caso de estudo teve como objetivo demonstrar que é possível disponibilizar sistemas de automação industrial baseados na <i>Cloud</i>, assegurando a redução de custos e de tempos de implementação. Adicionalmente, procurou-se provar que a transferência de funcionalidades críticas de um sistema de automação para a <i>Cloud</i> pode ser realizada sem comprometer o seu desempenho global.</p>	<p>Os resultados obtidos provaram que, mesmo nos casos mais complexos, é possível gerir um sistema de automação industrial através de um serviço de nuvem. Verificou-se, igualmente, que o uso da <i>Cloud</i> em automação industrial contribui para a simplificação do sistema, bem como para a redução do tempo e custos associados.</p>
<p>Cibersegurança</p>	<p>[26] O objetivo do caso de estudo apresentado consistiu no desenvolvimento de um sistema de análise de segurança fiável e otimizado.</p>	<p>Foi possível desenvolver um sistema prático e seguro, apto a ser testado em condições reais, capaz de gerar um impacto positivo na segurança tanto de sistemas de controlo industrial como de outros.</p>

2.3. Soluções de automação para ensino

Neste subcapítulo serão apresentadas algumas soluções de automação para o ensino, com foco em ferramentas e sistemas que ajudam na educação e formação técnica na área da automação. Em primeiro lugar, será apresentada uma visão geral das soluções disponíveis, seguida do estudo de *softwares* de automação que apoiam o ensino e de como pode ser feita a comunicação entre estes e as soluções existentes. Por fim, será realizada uma análise crítica, tanto a soluções comerciais, como a sistemas de aprendizagem no ensino.

2.3.1. Visão geral das soluções disponíveis

A evolução do mercado e a conseqüente procura por engenheiros resulta na necessidade de formar devidamente novos profissionais e prepará-los para atender às necessidades da indústria [3].

Expor os alunos a situações práticas permite que estes possam aplicar os conhecimentos adquiridos nas aulas teóricas e, em simultâneo, prepará-los para o mercado de trabalho [3], pelo que o uso de bancadas didáticas ou de trabalho é uma das soluções que tem grande importância na formação académica [3][27]. Pandini et al. [3] desenvolveram uma bancada didática de automação industrial para provar a sua importância na formação académica. O objetivo foi considerado cumprido, uma vez que o projeto mostrou ser útil para complementar as apresentações teóricas da matéria e tornou o ensino da engenharia “mais dinâmico e

participativo na área da automação industrial” [3]. A bancada de trabalho desenvolvida por Chinnasamy et al. [27] mostrou, também, ser importante para o ensino-aprendizagem dos alunos, enquanto os preparava para a indústria. Esta proporciona um ambiente de aprendizagem que permite aos alunos relacionar as necessidades académicas com as industriais [27]. No entanto, a pandemia de COVID-19 fez com que o ensino-aprendizagem presencial fosse interrompido temporariamente, forçando a mudança para o ensino online ou híbrido [4]. O uso de laboratórios remotos ou virtuais pode ser vantajoso. Os laboratórios remotos são laboratórios físicos, cujo software fornece a ligação entre os utilizadores e o hardware, permitindo a estes trabalhar com os componentes físicos remotamente [28]. Os laboratórios virtuais têm a capacidade de simular cenários reais com base em dados matemáticos e análise física [28]. Estes, permitem que mais alunos possam usar o mesmo laboratório e de forma independente [28], no entanto, por norma, não permitem que os alunos criem os seus próprios algoritmos, pelo que estes não adquirem conhecimento prático para implementar os controladores (como os PLCs) [29]. No trabalho de L. B. Palma et al. [4], a criação de um laboratório remoto de automação industrial veio provar que este é uma ferramenta vantajosa no ensino-aprendizagem da automação industrial. Permite simular o funcionamento e o controlo realizado por PLCs, de modo que os alunos possam aplicar os conceitos teóricos e simular várias situações, como se estivessem num laboratório real [4].

Em suma, todas as opções de laboratórios: físico, virtual ou remoto promovem o desenvolvimento de algumas habilidades nos alunos. Nos laboratórios físicos os alunos são capazes de adquirir conhecimento para trabalhar com equipamentos físicos, no entanto estes exigem espaço, mais recursos e maior investimento. Os laboratórios virtuais permitem aos alunos investir mais tempo no estudo da automação, mas precisam de *softwares* específicos e as opções de simulação limitam os resultados. Os laboratórios remotos foram a solução encontrada para conseguir retirar proveito tanto dos laboratórios físicos como dos virtuais, visto que os alunos conseguem trabalhar online ou fisicamente [30].

2.3.2. Softwares de automação de apoio ao ensino

Ainda que existam vários *softwares* disponíveis para o ensino da programação de um PLC, apenas alguns se estabeleceram como líderes do setor. Alguns desses são o *Sysmac Studio*, o CODESYS, o TIA Portal e o Studio 5000 [9], entre outros.

O *Sysmac Studio* (antigo Cx-Programmer) é um software da Omron que integra, num único sistema, a programação de controlo de movimento, operações lógicas, segurança, drives, sistemas de visão e funcionalidades de HMI [9]. Este software oferece uma plataforma de simulação 3D para que o utilizador possa ter uma visão clara do comportamento dos sistemas e dispositivos que está a programar [9]. Os utilizadores podem programar com *Ladder Logic*, *Structure Text* e *Function Block* [9].

O CODESYS é um software que não está vinculado a nenhuma marca, no entanto vários fabricantes de PLC adotaram este software, pelo que inúmeros PLCs do mercado são compatíveis com o mesmo [9]. Para além da programação do PLC, o CODESYS permite o desenvolvimento integrado de HMIs e oferece recursos avançados para o controlo de

movimento [9]. O CODESYS tem uma versão de demonstração gratuita disponível com um conjunto completo de recursos para fins educacionais que, ainda que com algumas limitações, é um recurso valioso no ensino-aprendizagem da programação do PLC [9]. Este software suporta linguagens de programação como C++ e MATLAB através da plataforma TwinCAT [9] da Beckhoff.

O TIA Portal da Siemens é uma solução completa capaz de simplificar e otimizar projetos de automação industrial com a integração de planeamento, engenharia, operação e manutenção, num sistema único [9]. Este software conecta-se com ferramentas HMI e SCADA para a visualização e controlo de operações e suporta diversas linguagens de programação, tais como lógica *Ladder*, FBD (*Function Block Diagram*), *statement list*, SFC (*Sequential Function Chart*) e linguagem SCL (*Structure Control Language*) [9].

O Studio 5000 da Rockwell Automation foi projetado para o desenvolvimento, implantação e manutenção de aplicações de automação industrial, usando controladores da própria marca [9]. Para além dos controladores, este software integra-se perfeitamente com drives e painéis HMI da Rockwell Automation, permitindo a configuração e comunicação eficiente dentro de todo o sistema [9]. O Studio 5000 integra, também, recursos como edição online, simulação e ferramentas de diagnóstico abrangentes e suporta as seguintes linguagens de programação: lógica *Ladder*, FBD e programação *Structure Text* (ST) [9].

Para além destes, o LABView permite uma comunicação simples com vários fabricantes, incluindo com várias marcas de PLCs (Siemens, Omron, Rockwell, entre outros) [31]. Este software possibilita, de forma prática e eficiente, a simulação de vários sistemas físicos antes destes serem implementados e facilita a supervisão e controlo de processos [31]. É utilizado principalmente em testes, medições, automação e controlo e permite a engenheiros e até mesmo a não programadores criar rapidamente programas personalizados [32]. É um software muito utilizado pelo excelente suporte para hardware de medição, por permitir um conjunto vasto de funções de análise e por ter uma interface gráfica simples [32]. Por tudo isto, é frequentemente utilizado em laboratórios de ensino de várias áreas da engenharia e das ciências naturais [32].

Em [31] conclui-se que o uso de *softwares* e ferramentas em soluções didáticas de automação favorece o desenvolvimento das habilidades dos alunos e familiariza os mesmos com os *softwares* mais utilizados na indústria.

2.3.3. Comunicação em sistemas de automação

A comunicação em sistemas automáticos é realizada através de protocolos de comunicação. Os protocolos de comunicação são usados para conectar, num só sistema, diversos dispositivos, tais como controladores, módulos I/O, dispositivos HMI, sensores e acionamentos elétricos. São soluções de rede que promovem a troca cíclica de dados do processo em aplicações de controlo industrial [33].

Alguns protocolos, como PROFINET, EtherCAT e Ethernet/IP, são protocolos Ethernet industriais, que, por norma, têm latência menor que os protocolos Ethernet tradicionais [34].

Os protocolos Ethernet industriais utilizados para a comunicação de dispositivos, como PLCs, sensores e atuadores, são frequentemente específicos de determinados fabricantes pelo que, dificilmente são compatíveis com protocolos de outros fornecedores [34]. Por esta razão, é incomum utilizar-se diferentes protocolos Ethernet industriais no mesmo sistema de controlo, pois isso pode gerar problemas de comunicação e integração e aumenta a complexidade do sistema [34]. O PROFINET é um protocolo de comunicação em tempo real baseado em Ethernet [35]. Ele interliga sistemas, dispositivos e células e torna os processos mais rápidos, seguros, económicos e de melhor qualidade, sendo amplamente usado na automação [35]. O EtherCAT é frequentemente utilizado em sistemas de controlo de movimento multieixo, como os encontrados em robótica, máquinas CNC e linhas de produção [33]. Promove uma comunicação de alta velocidade e baixa latência, com ciclos de comunicação e tempos de processamento por nó muito curtos [33].

Outros protocolos existentes são o Modbus e o OPC UA (*Open Platform Communications-Unified Architecture*). O Modbus é um protocolo leve e simples, o que faz com que seja um dos protocolos mais usados em aplicações industriais distribuídas [36]. Este protocolo permite a comunicação entre dispositivos e tem diversas variantes dependendo do meio de comunicação. As mais usadas são o Modbus RTU (*Remote Terminal Unit*), que é usado para transferir dados através de comunicações seriais (RS-232 ou RS-485), e o Modbus TCP (*Transmission Control Protocol*), que é usado em Ethernet e na Internet [36]. O OPC UA é baseado principalmente no barramento Ethernet [33]. Este protocolo permite a troca segura e confiável de dados, tanto em sistemas de automação industrial como noutras atividades [37]. Torna a comunicação entre dispositivos de diferentes fornecedores mais fácil e garante a continuidade do fluxo de informações, sendo usado por muitas universidades e empresas [37].

2.3.4. Soluções comerciais disponíveis

Existem inúmeras soluções comerciais disponíveis no mercado que facilitam a aprendizagem prática de várias áreas como pneumática e hidráulica, automação industrial, eletricidade e eletrónica, entre outras. Essas soluções, frequentemente, incluem as seguintes tecnologias:

- Automação industrial e Indústria 4.0;
- Acesso remoto;
- Controlo de processos;
- Sistemas pneumáticos e hidráulicos;
- Sistema de visão;
- Monitoração de dados.

Utilizando estas e outras tecnologias e sistemas modulares, os fabricantes conseguem simular praticamente todos os processos industriais com rigor, resultando em kits didáticos completos que permitem um contacto próximo com a realidade industrial e facilitam o ensino-aprendizagem da automação industrial.

A pesquisa por soluções comerciais disponíveis focou-se na automação industrial e Indústria 4.0, uma vez que este é um conceito mais abrangente e que pode englobar, não só as tecnologias listadas anteriormente, como outras. Assim, foram analisados kits didáticos de

automação industrial que integram a Indústria 4.0 de três fabricantes: Festo Inc., EXSTO e SMC Corporation, que são, até hoje, reconhecidos no mercado do ensino técnico e industrial.

2.3.4.1. Fabricante Festo Inc.

A Festo Inc. é uma “Empresa familiar responsável e Interveniante Global em automação” [38], multinacional alemã fundada em 1925 [39]. Desde então conta com “cerca de 30.000 produtos de catálogo, componentes personalizados, soluções prontas a instalar e ofertas de serviços associadas”, atuando tanto na automação como na indústria de processos [40]. A empresa conta ainda com a Festo Didatic, “líder mundial no mercado de formação inicial e contínua” [40], que fornece diversas soluções de aprendizagem nas áreas: pneumática e hidráulica, automação industrial, automação de processos e gestão dos recursos hídricos e eletricidade e eletrônica [41]. Na área de automação industrial uma das soluções fornecidas é a fábrica de aprendizagem MPS 404-1, que se pode ver na Figura 2, “é composta pelos módulos do sistema MPS 400 Distribuição pro, União, Medição Pro e Triagem em linha” [42].

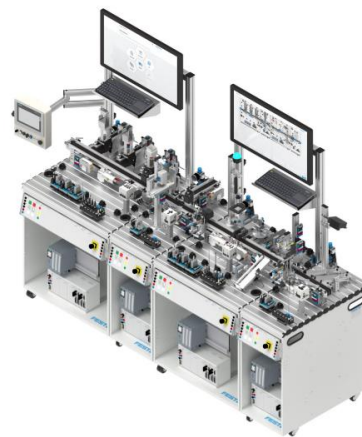


Figura 2 – Fábrica de aprendizagem MPS 404-1 [42]

Esta fábrica de aprendizagem simula uma pequena linha de produção, onde cada módulo desempenha diferentes funções e usa diferentes tecnologias [42]:

- **Distribuição pro:** o processo inicia-se sempre que é lançada uma ordem de fabrico através do MES (*Manufacturing Execution System*). Nesta estação são separadas as peças de trabalho em diferentes conjuntos e gravadas as tags de RFID (*Radio Frequency Identification*) respetivas [42];
- **União:** são usados leitores de RIFD para ler as tags e, dependendo da ordem de fabrico é colocada uma parte superior à peça de trabalho, podendo ser uma tampa simples ou um microcontrolador inteligente [42];
- **Medição pro:** nesta estação é feita uma primeira triagem das peças. São usados sensores para medir a altura ou o nível das mesmas e o peso e um robô móvel para mover as peças de trabalho entre módulos. Dependendo do resultado das medições as peças são levadas para a estação seguinte ou retiradas da linha de produção [42];
- **Triagem:** por fim, na estação de triagem as peças são encaminhadas para duas calhas, ou para a de controlo de qualidade ou para as estações adicionais [42].

Em suma, com esta fábrica de aprendizagem é possível trabalhar e aprender diversas tecnologias, tais como:

- MES
- RIFD
- HMI
- Realidade aumentada
- Redes
- Sensores inteligentes baseados em *IO Link*
- IIoT (*Industrial Internet of Things*)
- Vácuo
- Câmara web
- Microcomputador

O sistema não está associado a nenhum software/hardware diretamente, sendo compatível com *softwares* e *hardwares* de diferentes fabricantes [42].

2.3.4.2. Fabricante SMC

A SMC (*Sintered Metal Corporation*) foi criada na cidade do Japão, em 1959 [43] e alterou o nome para SMC Corporation em 1985 [44]. Inicialmente, era focada na produção de filtros de metal sinterizado e sistemas de filtragem, mas com o passar dos anos foi evoluindo a sua atividade, desde a pneumática básica até ao desenvolvimento de soluções de automação mais avançadas [43]. Hoje, conta com mais de 12 000 produtos base e mais de 700 000 variações, oferece soluções que cobrem praticamente todas as fases do processo de automação [44]. A SMC International Training é a divisão educacional da SMC Corporation que desenvolve e produz vários equipamentos de apoio à formação em automação industrial [45].

Uma das soluções oferecidas é a edição especial do sistema didático modular FAS-200, que se pode ver na Figura 3. Este sistema simula um processo de montagem real, usando diferentes tecnologias da Indústria 4.0 [46]. É constituído por uma célula de montagem flexível e automatizada com cinco etapas: montagem, manuseio, inspeção da qualidade, transferência e armazenamento e envio [46]. Esta edição especial do FAS-200 tem disponível duas versões, que diferem na etapa de transferência [46]. Numa, as tampas são transferidas utilizando tecnologia pneumática e noutra utilizando robótica colaborativa [46].

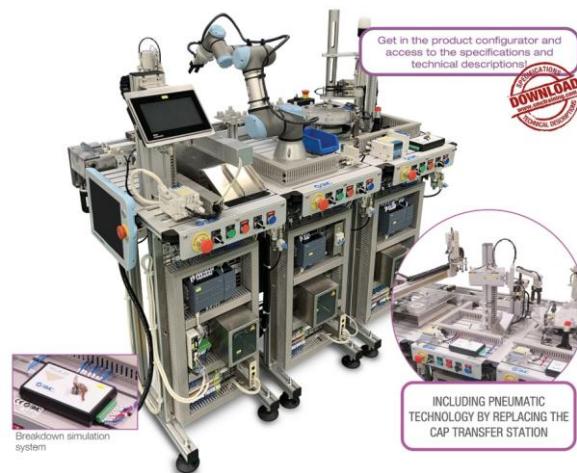


Figura 3 – Edição especial FAS-200 [46]

As cinco etapas do sistema estão distribuídas pelas três estações que compõem o sistema [46]:

- **FAS-209 SE I4.0** (Figura 4): Alimenta e inspeciona as tampas, que podem ser diferentes no material, cor e altura [46]. Simula a verificação de stock.



Figura 4 - FAS-209 SE I4.0 [47]

- **FAS-210 SE I4.0** (Figura 5): Nesta estação é feita da inspeção da qualidade das tampas. Aquelas que não sejam rejeitadas são transferidas para a montagem [46].

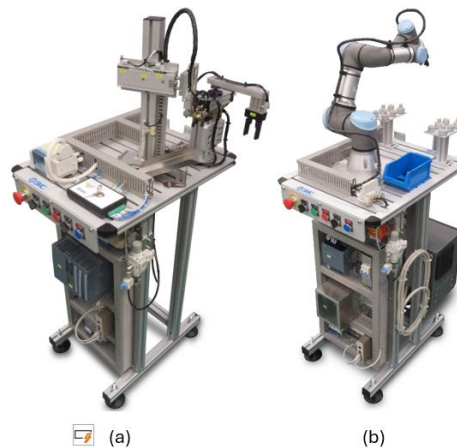


Figura 5 – FAS-210 SE I4.0: (a) Opção pneumática, (b) opção robô colaborativo [47]

- **FAS-216 SE I4.0** (Figura 6): A estaciona ou envia o produto final, de acordo com o pretendido [46]. Inclui uma HMI que integra a aplicação que gere o sistema [46].



Figura 6 - FAS-216 SE I4.0 [47]

As estações FAS-209 SE I4.0 e FAS-210 SE I4.0 na versão pneumática incluem um sistema de simulação de avarias, que permite ao utilizador simular até 16 avarias [46].

Do sistema faz parte, ainda, a transferência linear da Figura 7, que liga as diferentes estações e transporta as paletes entre elas [46]. Integra o sistema de leitura/escrita RFID para rastrear o produto e o sistema de visão artificial que permite a realização da inspeção da qualidade [46].



Figura 7 - FAS-200 SE I4.0 [47]

2.3.4.3. Fabricante Exsto

A Exsto Tecnologia, fundada em 2001, é uma empresa com sede no Brasil que desenvolve kits didáticos para o ensino tecnológico [48]. Tem por objetivo melhorar a qualidade do ensino de novas tecnologias em diversas áreas, como eletrônica, automação, telecomunicações, entre outras, seja em instituições nacionais, seja em instituições internacionais [48]. A Exsto tem disponíveis inúmeras soluções, sendo uma delas o kit didático XC133 – Banco de Ensaio para PLC ROCKWELL (MICRO-850), que se pode ver na Figura 8.



Figura 8 - XC133 – Banco de Ensaio para PLC ROCKWELL (MICRO-850) [48]

Este kit foi criado com o propósito de fornecer aos estudantes os recursos necessários para explorar todos os temas essenciais relacionados com o PLC, bem como para ser compatível com vários outros kits da área industrial da Exsto [48]. Permite a realização de atividades com entradas e saídas digitais, com sinais analógicos e com motores [48]. Para isso conta com diferentes componentes além do PLC, como botões, LEDs (*Light Emitting Diodes*) potenciômetros, um motor CC (Corrente Contínua), relés, entre outros [48]. O kit está ainda equipado com uma HMI, que permite aos estudantes controlar as diferentes atividades [48].

O software usado pela Exsto para comunicar com o PLC é, por norma, o Automation Studio [48]. A Exsto tem desenvolvido vários Ambientes Virtuais no Automation Studio [49], que podem ser controlados pelo PLC através da Interface OPC TCP [48].

2.3.5. Sistemas de aprendizagem de automação industrial no ensino superior

O uso da Internet no ensino tem crescido exponencialmente, melhorando a comunicação dentro da comunidade académica e a aprendizagem dos alunos. No entanto, a prática em laboratórios continua a ser parte crucial na formação de profissionais da área da engenharia [50]. Por vezes o uso de laboratórios torna-se difícil, seja pelo ensino à distância, pelos custos ou porque é difícil replicar vários postos de trabalho num mesmo laboratório [50], [51]. Uma solução para esse problema pode ser o uso de laboratórios remotos [51]. A ideia é realizar as experiências laboratoriais através da Internet, podendo, assim, o aluno trabalhar em qualquer lugar e a qualquer hora [51].

Foram estudados alguns sistemas de aprendizagem de automação industrial no contexto do ensino superior, dentro dos quais o laboratório remoto de automação da universidade de Léon, constituído por vários sistemas diferentes e diferentes áreas [52].

Este laboratório visa dar resposta à mobilidade do conhecimento, à cooperação europeia, à aprendizagem-estudante, ao empenho profissional no ensino e à utilização intensiva das TIC (Tecnologias da Informação e Comunicação) [52]. Dos vários sistemas o mais próximo da bancada didática em estudo é a célula electropneumática robótica, representada na Figura 9 , que simula uma linha de montagem [53].



Figura 9 - Célula electropneumática robótica [53]

Esta célula tem como objetivo simular processos industriais de uma linha de montagem, como furação, remoção de peças defeituosas, entre outros [53]. Assim, é constituída por vários componentes pneumáticos com sensores magnéticos e válvulas solenoides e, também, por uma correia transportadora [53]. É possível visualizar o sistema através de uma câmara web [53].

A simulação de processos industriais reais, que é possível com o uso desta célula permite aos utilizadores testar e adquirir novos conhecimentos práticos e teóricos na área da automação, seja no laboratório físico ou virtual [53].

A célula é composta pelos seguintes equipamentos [53]:

- Cilindros pneumáticos;
- Válvulas solenoides;
- Sensores fotoelétricos, de montagem de bandas e magnéticos;

- Robô e controlador ABB;
- Câmara de visão – permite a monitorização em tempo real;
- Manipulador automático;
- Motor;
- PLC Schneider.

Outro sistema em estudo foi o laboratório remoto de automação industrial do IST (Instituto Superior Técnico), fisicamente instalado no Laboratório de Automação e Robótica do departamento de Engenharia Mecânica do IST [54]. O laboratório, representado na Figura 10, consiste num sistema didático que promove o ensino e aprendizagem da automação industrial.

O laboratório permite testar programas de automação criados com o software que suporta os autómatos e que permite controlar e ler as variáveis dos PLCs [54]. É composto por quatro estações, cada uma com três cilindros pneumáticos (1) e sete LEDs (2) [54]. Cada estação tem associada um PLC, dois são modelos mais antigos (3), pelo que não têm recurso de servidor web, enquanto os outros dois, mais recentes, têm (4).

O sistema está ainda munido de um elevador horizontal (5). Para regular a pressão do ar, é utilizado um manómetro (6). O ar, que entra, é redirecionado para os cilindros através de um Sistema de Terminal de Válvulas (7), sempre que necessário. A comunicação entre cada PLC a webcam à VPN é feita por um *switch* de oito portas (8). Por fim, a fonte de alimentação (9) alimenta todos os componentes do laboratório [54].



Figura 10 – Laboratório remoto de automação industrial IST [54]

Este sistema permite a simulação de processos industriais e o desenvolvimento de competências práticas e teóricas na programação de PLCs, na aquisição e interpretação de sinais de sensores, no controlo de atuadores e na gestão de interfaces de entrada e saída. Para além disso, possibilita a execução de atividades de ensino e aprendizagem em regime remoto.

O laboratório é composto por diferentes tecnologias de automação, tais como controladores industriais (PLCs), redes, acesso remoto e *Cloud* e base de dados [54].

O sistema de controlo de uma pequena casa, incluído no projeto “PAIR: The Remote Industrial Automation Trainer” da Universidade do Minho (UM), foi, também, analisado. Este foi criado para desenvolver as competências práticas e teóricas dos alunos, em automação industrial [28].

Foi criado com a possibilidade de ser usado fisicamente ou virtualmente, através de acesso remoto [28].

Este projeto tem como principal objetivo simular o controlo de uma casa inteligente, que está representada na Figura 11 [28]. Os alunos podem testar várias funcionalidades, como controlo de alarme, controlo de temperatura, abertura/fecho da porta de entrada e controlo da iluminação com a utilização de sensores e LEDs, um PLC e uma HMI [55]. O sistema foi desenvolvido em LabVIEW, cujo interface permite controlar virtualmente a “pequena casa inteligente” com recurso a uma câmara web [55].

O uso deste sistema possibilita a aprendizagem dos conteúdos lecionados na área da automação industrial, bem como o teste e desenvolvimento de soluções de uma forma didática e aplicada num contexto real [28]. Promove ainda a aprendizagem prática de linguagens como Grafcet e *Ladder* [28].



Figura 11 - Kit didático: Casa inteligente UM [55]

Para o funcionamento do kit são necessários alguns equipamentos. Os PLCs usados são da OMRON e ficam dispostos num armário [28] junto com o painel da HMI e outros equipamentos, como se pode ver na Figura 11. O software utilizado é o OMRON CX-One, que permite, não só a utilização da HMI, como a integração dos sensores e atuadores utilizados [28]. O uso da câmara e da interface LabVIEW permite transformar a casa numa experiência virtual [28].

Foi, ainda, estudado um simulador didático de automação industrial, representado na Figura 12, criado no ISEL (Instituto superior de Engenharia de Lisboa) [56]. Este é um sistema didático que simula o processo de tratamento de águas.



Figura 12 – Simulador didático para sistemas de tratamento de água [56]

O sistema é composto por diferentes módulos. O recipiente maior representa o reservatório de água e os restantes representam três etapas reais do processo de tratamento de águas (aquecimento, mistura e filtragem) e esgoto [56]. Uma vez que o sistema é pequeno e modular pode ser facilmente movido para diferentes locais [56]. Este simulador tem por objetivo ser aplicado no ensino técnico e superior, de modo que os alunos possam aprofundar os seus conhecimentos em automação industrial [56], sendo possível ainda testar e adquirir conhecimentos na área da química ambiental. Com as diferentes tecnologias integradas é possível monitorizar e controlar diferentes variáveis do processo, tais como níveis de água, caudal e qualidade [56]. Para isso foram usados diferentes sensores e atuadores:

- Quatro bombas elétricas centrífugas com motores CC sem escovas [56], para bombear a água de um recipiente para outro;
- Seis válvulas solenoides plásticas normalmente fechadas [56], que controlam o fluxo da água;
- Oito sensores de nível de flutuação [56], que dão a indicação do nível da água;
- Dois sensores de temperatura [56];
- Um resistor de aquecimento de 850 W [56];
- Uma bomba de mistura de 150 W [56];
- Duas válvulas manuais para limpar o sistema [56];

O controlo do simulador é feito utilizando o PLC ILC 131 ETH da *Phoenix Contact*, que possui oito entradas e quatro saídas digitais e cinco módulos de expansão [56]. Este está ligado a um *Raspberry Pi 3* (computador compacto e de baixo custo), associado a um painel *touch* (HMI) [56]. O acesso remoto é possível através da aplicação android criada, que comunica com o *Raspberry Pi 3* via *Bluetooth* [56]. Todas as conexões elétricas e respetivas proteções são armazenadas num painel elétrico feito em acrílico para que os utilizadores do sistema possam visualizar o seu interior [56]. Do painel faz, ainda, parte um LED que indica se o sistema está ligado ou desligado, sendo que o sistema é ligado ou desligado com uma chave e alimentado por rede de baixa tensão [56].

Por último foi analisada uma bancada didática para ensino de automação, que se pode ver na Figura 13, inserida no Departamento de Engenharia Eletrotécnica (DEE) do ISEP (Instituto Superior de Engenharia Mecânica) [1].



Figura 13 – Bancada didática para ensino de automação DEE [1]

Este sistema foi desenvolvido para promover o ensino-aprendizagem da automação [1]. Procura testar as habilidades práticas e a capacidade de inovação dos estudantes, simulando um sistema industrial real, que permite o acesso remoto e utiliza tecnologias industriais reais [1].

A bancada didática tem como principal objetivo simular um sistema industrial capaz de separar peças de acordo com a altura das mesmas [1]. É, por isso, capaz de demonstrar, em contexto industrial, como seria feita a remoção de peças defeituosas de uma linha de produção [1]. Para isso está dividida em três módulos de admissão, seleção e separação e utiliza sensores, cilindros pneumáticos, um motor trifásico e uma HMI, a partir do qual é possível escolher atuar em modo manual ou automático [1]. Do painel de controlo, para além da HMI, fazem parte os botões de emergência, *start/stop* e reset e, ainda, um relé de segurança [1].

Esta bancada possibilita a realização de experiências práticas, pelo que complementa os conteúdos abordados nas unidades curriculares e laboratórios [1]. Permite simular processos industriais e realizar tarefas como o controlo de qualidade por dimensões de peças e parametrização, e promove, também, o pensamento crítico, sendo permitido ao aluno desenvolver *soft* e *hard skills* [1].

Do sistema fazem parte um PLC sensores analógicos e digitais (de presença e de medição), sistemas pneumáticos, um motor trifásico e uma HMI [1]. O *software* usado é o Cx-Programmer do fabricante (OMRON Corporation). Existe a possibilidade de integração de câmaras ao sistema, que permitem o acesso remoto, bem como de sistemas de visão artificial para melhoria do mesmo [3][27].

2.3.6. Análise crítica

A Tabela 2 serve para comparação das soluções de comerciantes analisadas anteriormente, enquanto a Tabela 3 serve para comparação dos sistemas de aprendizagem de automação industrial no ensino superior.

Tabela 2 – Tabela resumo das soluções de comerciantes

Sistema	Tecnologias I4.0	Aplicação	Fabricante	Custo	Nível de inovação
Festo MPS 404-1	MES, RFID, IIoT, HMI, Realidade aumentada, Redes, <i>IO Link</i> , Comunicação PROFINET Ethernet	Simulação de linha	Festo Inc.	Elevado	Alto
FAS-200 Edição especial	Robô Colaborativo, Aplicação de gestão para HMI, Atuadores elétricos, Comunicação ETHERNET, Controladores Industriais, I/O distribuídos, HMI, <i>IO Link</i> , RFID, Visão artificial, Realidade aumentada	Processo de montagem em linha	SMC Corporation	Elevado	Alto
XC133	HMI, Redes (OPC), Variação de velocidade, Controladores industriais	Ensino (uso e programação do PLC)	Exsto Tecnologia	Alto	Baixo

Tabela 3 - Tabela de comparação de sistemas de automação do ensino superior

Sistema	Tecnologias I4.0	Aplicação	Instituição de ensino	Custo	Nível de inovação
Célula electropneumática robótica	Acesso remoto, eletropneumática, Robô colaborativo, <i>IO Link</i> , Variação de velocidade, Controladores industriais	Simulação de linha de montagem	Universidade de León	Médio	Médio
IST	Acesso remoto, Controladores industriais, <i>Cloud</i> e Base de dados, redes	Ensino (uso e programação de PLCs)	IST	Baixo	Baixo
Casa inteligente UM	Acesso remoto, Redes, HMI, Controladores industriais, <i>IO Link</i>	Simulação do controlo de uma casa	Universidade do Minho (UM)	Médio	Médio
ISEL	Acesso remoto, (<i>Raspberry Pi 3</i>), HMI, <i>IO Link</i> , Controladores industriais	Simulação do processo de tratamento de águas	ISEL	Baixo	Baixo
ISEP - DEE	HMI, <i>IO Link</i> , Variação de velocidade, Controladores industriais	Simulação de linha de produção	ISEP	Médio	Médio

Da Tabela 2 entende-se que soluções mais inovadoras e com aplicação de mais tecnologias implicam custos muito elevados. Para além disso, nenhuma das soluções comerciais analisadas têm acesso remoto, que se tornou uma ferramenta ainda mais importante desde o COVID-19.

Da análise dos sistemas de automação do ensino desenvolvidos a nível superior verifica-se que todos são sistemas relativamente simples e que integram, praticamente, as mesmas tecnologias, sendo o sistema da Universidade de León o mais diferenciado por integrar um robô

colaborativo. Da Tabela 3 nota-se, ainda, que os sistemas têm aplicações muito específicas. Embora as soluções criadas sejam para apoio ao ensino-aprendizagem da automação, ao terem uma aplicação específica reduzem o número de atividades práticas que podem ser realizadas para testar diferentes conhecimentos teóricos.

Uma situação ideal seria criar bancadas didáticas que contenham o máximo de tecnologias possível a um custo mais acessível para a instituição de ensino, de modo que os alunos pudessem desenvolver e experimentar várias atividades e colocar em prática o máximo de conhecimento teórico adquirido nas aulas. Assim, também os docentes teriam uma ferramenta útil capaz de complementar as matérias lecionadas. Uma boa solução seriam kits modulares e acessíveis que integrassem diferentes tecnologias. Isso iria aumentar a abrangência educacional e permitir o uso de equipamento open-source. Ademais a inclusão de tecnologias emergentes como *IoT/IIoT*, *Digital Twin* e visão computacional, para reconhecer padrões, formas, cores e orientação (inspeção de qualidade, por exemplo), processamento analógico, uso de sistemas RFID (em correias transportadoras) coordenados com um cobot, I/O-Links, entre outros. Naturalmente, que as soluções suportadas com cobots [57] aumentam o custo final, mas todas as outras tecnologias listadas são de baixo/médio custo e fáceis de integrar com acesso remoto, PLCs e HMI de modo a garantir flexibilidade e capacidade de simulação de diferentes cenários do mundo real como refere Azevedo et al. [58]. Esta abordagem seria vantajosa para tornar as bancadas mais modernas e alinhadas com a Indústria 4.0 e prepará-las para a Indústria 5.0.

3. Metodologia

Neste capítulo será apresentada a metodologia utilizada. Será descrita a abordagem adotada e o planeamento do desenvolvimento, apresentadas as ferramentas e tecnologias utilizadas e exposta a estratégia de testes e validação.

3.1. Abordagem adotada

O projeto foi conduzido com base numa metodologia cíclica e progressiva, em que cada etapa contribuía para a evolução do trabalho como um todo. Através de sucessivos momentos de planeamento, teste e aperfeiçoamento, foi possível antecipar problemas, corrigir erros e melhorar continuamente as soluções desenvolvidas, garantindo uma integração eficiente dos diversos componentes do sistema.

3.2. Ferramentas e tecnologias utilizadas

As ferramentas e tecnologias utilizadas no desenvolvimento da bancada foram as seguintes:

- *SolidWorks*: modelação 3D da bancada;
- EPLAN: elaboração dos esquemas elétricos;
- *Sysmac Studio*: programação dos controladores (PLCs);
- *NB-Designer*: programação das HMIs;
- Instrumentos de medição e ferramentas manuais: montagem da estrutura;
- Alicates de crimpagem e alicate decapador: ligações elétricas.

3.3. Planeamento do desenvolvimento

O projeto foi desenvolvido através das seguintes etapas:

- 1) Estudo das bancadas didáticas já existentes no mercado e em instituições de ensino;
- 2) Definição dos objetivos;
- 3) Modelação 3D da estrutura;
- 4) Montagem da estrutura;
- 5) Seleção e integração dos componentes;
- 6) Integração dos componentes no modelo 3D;
- 7) Elaboração dos esquemas elétricos;
- 8) Instalação elétrica dos componentes;

Metodologia

- 9) Programação e verificação do funcionamento;
- 10) Avaliação final e documentação do projeto.

3.4. Estratégia de testes e validação

A verificação do funcionamento da bancada baseou-se na execução de testes de:

- Atuação dos elementos de controlo (Sensores, LEDs, botões);
- Execução de exercícios de teste desenvolvidos nos sistemas de programação *Sysmac Studio* e *NB-Designer*.

4. Desenvolvimento

Este capítulo descreve o processo de desenvolvimento de uma bancada didática para ensino e aprendizagem de automação industrial. Inicialmente, apresentam-se as especificações funcionais e técnicas definidas para o projeto. Segue-se a caracterização da arquitetura do sistema, abrangendo os materiais utilizados na construção da bancada e os componentes de hardware e software envolvidos.

É também abordada a integração dos diferentes elementos da bancada, nomeadamente sensores, atuadores e autómatos programáveis. Posteriormente, expõem-se as etapas de programação e de desenvolvimento da interface com o utilizador, bem como os mecanismos de comunicação entre os módulos. Por último, são apresentados os principais desafios enfrentados e as soluções implementadas para a sua superação.

4.1. Especificações funcionais e técnicas

Neste subcapítulo apresentam-se as especificações funcionais e técnicas da bancada didática.

4.1.1. Especificações funcionais

A bancada didática foi desenvolvida com o objetivo de apoiar o processo de ensino-aprendizagem na área da automação industrial, integrando PLCs, HMIs, sensores, atuadores, sistemas de acionamento e redes de comunicação industrial. A sua estrutura modular permite a construção de diferentes cenários didáticos, possibilitando a integração gradual dos componentes.

Outras funcionalidades com foco educativo incluem:

- montagem de exercícios práticos de lógica de controlo, acionamento, sensores e redes e de exercícios com introdução de falhas, que permitem o desenvolvimento de competências em deteção e correção de problemas;
- visualização e registo de dados em tempo real;
- segurança operacional.

Assim, o sistema permite aos utilizadores a aplicação prática dos conhecimentos teóricos adquiridos em contexto letivo, através da realização de diferentes exercícios.

As funcionalidades a seguir descritas definem como a bancada deverá operar em ambiente de ensino.

4.1.1.1. Programação e operação do PLC

A bancada permite a programação de PLCs em conformidade com a norma IEC 61131-3, que suporta linguagens como *Ladder Diagram* (LD) e *Structured Text*, entre outras. Os controladores devem ser capazes de:

- Executar as lógicas de controlo baseadas em entradas e saídas digitais e analógicas;
- Controlar atuadores elétricos e eletromecânicos;
- Interagir com diferentes tipos de sensores para simulação de processos industriais;
- Comunicar com as interfaces HMI e com dispositivos externos, como o Flexy 205.

A execução do programa no PLC deve refletir o comportamento real do sistema físico, permitindo a validação e correção de erros em tempo real.

4.1.1.2. Interação com a HMI

A Interface Homem-Máquina permite a visualização e o controlo do processo através de uma interface gráfica. As funcionalidades esperadas incluem:

- Exibição em tempo real do estado de sensores, atuadores e variáveis do processo;
- Permissão de comandos manuais, como Start, Stop, Reset ou mudança de modo;
- Criação e exibição de alertas e mensagens de alarme em caso de falhas ou condições anormais;
- Configuração de parâmetros de controlo, como velocidade, posição, temporizações, etc.

A HMI deve comunicar com o PLC através de comunicação industrial, de modo a permitir a troca bidirecional de dados.

4.1.1.3. Controlo de sensores e atuadores

A bancada integra sensores de diferentes tipos (indutivos, capacitivos, fotoelétricos e analógicos) que simulam condições de processo, tais como presença de objetos e monitorização de variáveis físicas. Assim, o sistema deve ser capaz de:

- Detetar o estado lógico de sensores digitais;
- Adquirir sinais analógicos para controlo de grandezas físicas;
- Acionar saídas digitais visíveis;
- Controlar cilindros pneumáticos e motores com base na lógica de controlo implementada no PLC.

4.1.1.4. Comando de servo drive e motor com variador de velocidade

A bancada dispõe de dois sistemas de acionamento distintos:

- **Servo drive:** deve permitir o controlo de um servo motor com posicionamento e velocidade ajustáveis e executar movimentos precisos com comando do PLC via comunicação industrial. O sistema deve suportar sequências de movimento ou posicionamentos através da HMI.

- **Inversor de Frequência:** também designado por variador de velocidade, controla um motor de indução trifásico, com possibilidade de ajuste da velocidade e sentido de rotação. Os parâmetros podem ser definidos via interface local ou remotamente via PLC/HMI.

Ambos os sistemas devem permitir exercícios práticos de controlo de velocidade/rotações.

4.1.1.5. Comunicação Industrial com Flexy 205

O dispositivo Flexy 205, da HMS/Ewon, integra funcionalidades de *gateway* e acesso remoto industrial. Este dispositivo permite:

- Comunicação segura com o PLC via protocolo industrial, como por exemplo Ethernet/IP, Modbus ou outros;
- Publicação de dados do sistema em *dashboards* externos (nuvem) ou plataformas de IoT industrial;
- Acesso remoto para diagnóstico e monitorização da bancada via VPN segura;
- Suporte a alarmes e envio de notificações em caso de eventos predefinidos.

4.1.1.6. Botões e LEDs

A bancada didática contém diversos botões físicos e LEDs indicadores que suportam a introdução de comandos manuais no processo e a visualização do estado do sistema com sinalização luminosa, bem como a simulação de eventos industriais, como acionamentos de máquinas ou falhas. A presença destes dispositivos torna mais intuitiva a compreensão da lógica implementada e permite a realização de testes de controlo discreto.

4.1.2. Especificações técnicas

A bancada apresenta uma estrutura modular construída com perfis de alumínio. Na parte frontal, os perfis e painéis frontais em Alucobond integram os equipamentos e interfaces de operação. Dispõe ainda de uma mesa em madeira que serve de apoio às atividades práticas. Os componentes foram dispostos de forma acessível e interligável, facilitando a sua utilização em contextos de ensino e aprendizagem.

- **Dimensões:** 2200 × 600 × 2000 mm
- **Peso:** ~75 kg
- **Materiais utilizados:** Alumínio, Alucobond, Madeira, ABS, PVC
- **Orientações sobre a montagem e instalação:** devido às dimensões e ao peso da bancada¹ esta foi montada no local onde se pretende que seja utilizada
- **Alimentação elétrica:** 230V AC / 50 Hz com proteção diferencial e disjuntores
- **Fontes de alimentação:** Conversores AC-DC 24 V
- **Acesso remoto:** garantido pelo *gateway* Ewon Flexy 205

¹ Com os equipamentos instalados, a bancada pode pesar entre 90 a 100 kg.

Desenvolvimento

Os componentes principais que asseguram as especificações funcionais são:

- PLC NX1P2-1040DT1 (Omron):
 - Entradas digitais: 24
 - Saídas digitais: 16
 - Comunicação: EtherCAT Master, Ethernet/IP, Ethernet TCP/IP
 - Software: *Sysmac Studio*
- PLC NX102-9020 (Omron) e cartas de expansão:
 - Entradas digitais: 4 (carta PF0730)
 - Saídas digitais: 4 (carta ID3417)
 - Entradas Analógicas: 2 (carta AD2203)
 - Saídas Analógicas: 2 (carta DA2603)
 - Comunicação: EtherCAT Master, Ethernet/IP, Ethernet TCP/IP
 - Software: *Sysmac Studio*
- HMI NBW7-TW01B:
 - Ecrã tátil de 7”
 - Comunicação com PLCs via Ethernet e porta serial
- Ewon Flexy 205:
 - Acesso remoto seguro via VPN;
 - Capacidade de monitorização e envio de alarmes (email e SMS);
 - Suporte a protocolos industriais (Modbus TCP, OPC UA, MQTT, etc.);
 - Visualização de dados via *dashboard*.
- Sensores e atuadores:
 - Sensores indutivos, capacitivos, fotoelétricos e de visão;
 - Motor trifásico com inversor de frequência;
 - Atuadores pneumáticos;
 - Botoneiras, chaves seletoras, sinalizadores e relés.
- Comunicação e integração:
 - USB (*Universal Serial Bus*), Ethernet e EtherCAT
- *Softwares*:
 - Programação dos PLCs: *Sysmac Studio*
 - Programação e design das HMIs: *NB-Designer*

4.2. Arquitetura do sistema

Este subcapítulo aborda os principais aspetos relacionados com a construção da bancada didática, nomeadamente a seleção dos materiais utilizados na sua estrutura, bem como a escolha dos equipamentos e das tecnologias integradas. Será também apresentado o modelo 3D da bancada, oferecendo uma visão clara da estrutura e da disposição dos componentes.

Foi utilizado o software *SolidWorks 2024* para a criação do modelo 3D da bancada, apresentado na Figura 14.

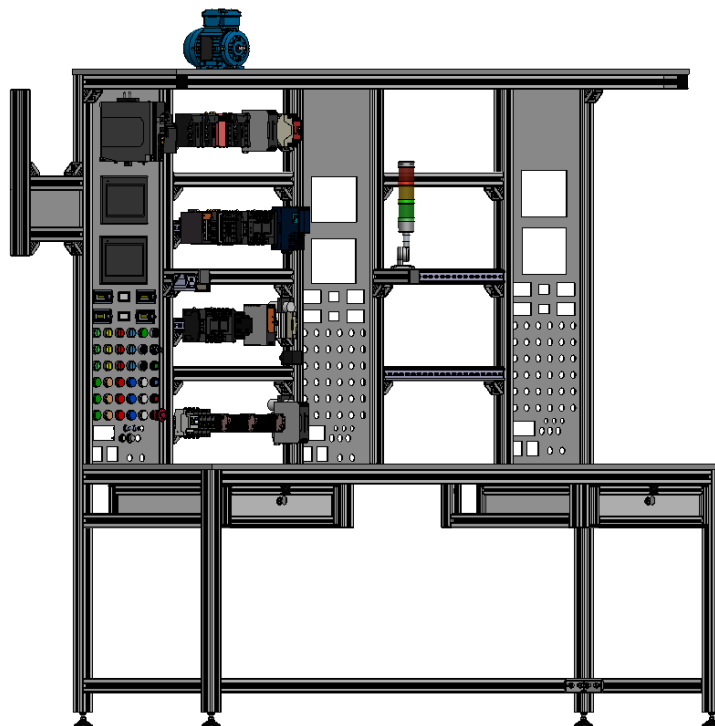


Figura 14 – Modelo 3D da bancada didática

4.2.1. Estrutura da bancada didática

A bancada didática foi projetada com dimensões de 2200 × 600 × 2000 mm, de forma a garantir uma estrutura robusta e estável, adequada à instalação dos diversos equipamentos necessários. Estas dimensões permitem, ainda, que múltiplos utilizadores trabalhem simultaneamente, sem comprometer o conforto ergonómico ou a segurança. Contudo, tais dimensões não constituem um limite máximo de ocupação do espaço, uma vez que alguns equipamentos apresentam dimensões que excedem ligeiramente os valores inicialmente considerados.

As cotas gerais da bancada encontram-se representadas no desenho 2D (ver APÊNDICE A), o qual fornece informações essenciais para a construção, montagem e verificação dimensional da estrutura, permitindo compreender a disposição e a integração dos diferentes equipamentos instalados.

Conforme ilustrado na Figura 14, os diversos equipamentos encontram-se instalados nas placas verticais e nas barras horizontais que as interligam. A bancada pode ser dividida em três zonas, designadas A, B e C, como representado na Figura 15. A zona A aloca os equipamentos da *Omron*, enquanto a zona C se destina à instalação de equipamentos da *Siemens*. A zona B foi atribuída aos equipamentos de segurança que abrangem toda a bancada.

Desenvolvimento

A estrutura da bancada inclui também duas gavetas quadradas, destinadas ao armazenamento de outros materiais ou equipamentos, bem como duas placas e madeira dispostas horizontalmente:

- a placa inferior, de maiores dimensões, funciona como superfície de apoio ao trabalho;
- a placa superior serve como base de fixação do motor, contribuindo para a segurança dos utilizadores durante a sua operação.

Salienta-se que a altura das gavetas e da placa inferior em relação ao solo foi projetada tendo em consideração a ergonomia do posto de trabalho, permitindo aos utilizadores trabalhar sentados na bancada sem comprometer o espaço livre das pernas.

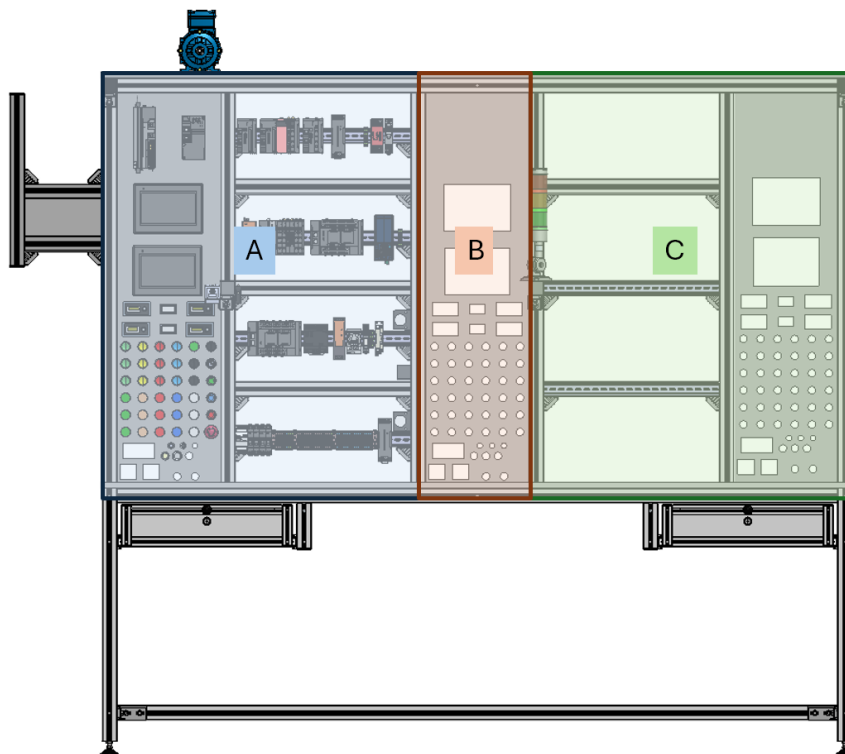


Figura 15 - Bancada dividida por zonas

4.2.1.1. Elementos estruturais

A estrutura da bancada é composta, essencialmente, por perfis técnicos de alumínio 45X45 mm, conforme ilustrado na Figura 16, placas de Alucobond e placas de madeira. Os perfis de alumínio são leves, apresentam boa resistência à corrosão, ao desgaste e à fadiga e possuem excelente acabamento superficial. As placas de Alucobond apresentam igualmente baixo peso, boas propriedades mecânicas – incluindo elevada resistência à flexão e impacto, assim como boa rigidez estrutural – e podem ser facilmente moldadas em diferentes formas. O acabamento prateado confere à bancada um aspeto visual elegante e moderno.



Figura 16 – Perfil técnico de alumínio 45x45 [59]

A ligação entre os perfis de alumínio é realizada através de parafusos do tipo S12x30, ilustrado na Figura 17.



Figura 17 – Parafuso S12x30 [60]

Estes parafusos são roscados na extremidade dos perfis até à distância que permite o seu deslizamento ao longo das ranhuras dos perfis a interligar. Em determinadas áreas, a ligação dos perfis é reforçada com esquadros 45x45 e parafusos cabeça de martelo M8x25, como os da Figura 18 e Figura 19, respetivamente. A utilização destes elementos facilita o processo de montagem e permite que a estrutura seja modificada de forma prática, sem comprometer a sua integridade.

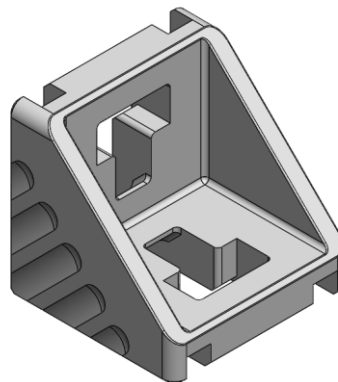


Figura 18 – Esquadro 45x45 (modelo 3D do SolidWorks)



Figura 19 – Parafusos cabeça de martelo M8x25 [61]

Com o objetivo de reforçar a segurança dos utilizadores, as extremidades expostas dos perfis são protegidas com tampas quadradas em ABS preto.

A montagem dos equipamentos na estrutura é realizada através da utilização de calhas DIN (Deutsches Institut für Normung), suportes metálicos normalizados, amplamente utilizados na indústria para a fixação de componentes eletrônicos e eletromecânicos [62]. Na Figura 20 apresenta-se a calha utilizada.



Figura 20 – Calha DIN [63]

A organização dos cabos é assegurada através da utilização de calhas de PVC rígido, como a representada na Figura 21. Este tipo de calha contribui para uma gestão eficiente da cablagem, melhora as condições de segurança e confere à estrutura um aspeto mais limpo e arrumado.



Figura 21 – Calha de PVC para cabos [64]

4.2.2. Equipamentos

Neste trabalho foram apenas instalados os equipamentos na zona A, que aloca equipamentos, essencialmente, da *Omron*. Na Tabela 4 estão listados todos os equipamentos.

Tabela 4 - Tabela de equipamentos

Designação	Descrição	Quantidade
NX-EIC203	Acoplador para EtherCAT	2
SL3300	Controlador de segurança	1
SID800	Módulo de entrada de segurança	1
SOD400	Módulo de saída de segurança	1
NX-EIC202	Acoplador para Ethernet/IP	1
S8VK-C12024	Fonte de alimentação	2
G9SX-AD322-T150-RT	Controlador de segurança	1
P7SA-10F-ND-PU-24VCD	Socket para relé	1
IE-SW-EL08-8TX	Switch não gerido 8 portas RJ45	1
NX102-9020	Controlador modular	1
PF0730	Unidade adicional de alimentação	1
ID3417	Unidade de entrada digital	1
OD3256	Unidade de saída digital	1
AD2203	Unidade de entrada analógica	1
DA2603	Unidade de saída analógica	1
NX1P2-1040DT1	Controlador	2
Ewon Flexy 205	Gateway IIOT e Router de acesso remoto industrial	1
8A.04.9.024.8320	Relé lógico programável OPTA Arduino PRO	1
PROeco 72W 24V 3A	Fonte de alimentação	1
Tomada 230V	Tomada para calha DIN	1
Wago 788-312	Relé 24VDC	1
G3PE-215B	Relé estático Omron	1
5SV5312-0	Interruptor Diferencial 2-pólos	1
MW116-C16	Disjuntor	4
Borne de ligação (Fase - L)	Bloco de terminais para montagem em calha DIN	23
Borne de ligação (Neutro – N)	Bloco de terminais para montagem em calha DIN	23
Borne de ligação (Terra - PE)	Bloco de terminais para montagem em calha DIN	11
Borne de travamento	Bloco final para montagem em calha DIN	5
Barra de jumper	Ponte de ligação entre bornes	40 dentes
3G3M1-AB004-ECT	Inversor	1
R88D-1SN08H-ECT	Servo Drive	1
NB7W-TW01B	Ecrã tátil 7" (HMI)	2
DM-HOD-1AO-010V	Gerador de sinal 0-10V	2
COM-VM533	Voltímetro de painel digital 0..33VDC (5 dígitos) - vermelho	2
-	Gerador de sinal 4-20mA 2 fios	2
SL-CPB01-AA31	Botão de pressão verde	3
SL-CPB01-AA51	Botão de pressão amarelo	3
SL-CPB01-AA42	Botão de pressão vermelho	3
SL-CPB01-AA61	Botão de pressão azul	3

Desenvolvimento

SL-CPB01-AD21	Seletor de 2 posições fixas	3
SL-CPB01-22DS-GR-024	Sinalizador compacto Ø22mm LED cor verde 24V	4
SL-CPB01-22DS-YE-024	Sinalizador compacto Ø22mm LED cor amarelo 24V	3
SL-CPB01-22DS-RD-024	Sinalizador compacto Ø22mm LED cor vermelho 24V	3
SL-CPB01-22DS-BL-024	Sinalizador compacto Ø22mm LED cor azul 24V	3
SL-CPB01-22DS-WH-024	Sinalizador compacto Ø22mm LED cor branco 24V	3
SL-CPB01-AW3361-024	Botão de pressão luminoso verde	1
SL-CPB01-AW3462-024	Botão de pressão luminoso vermelho	1
SL-CPB01-AW3661-024	Botão de pressão luminoso azul	1
SL-CPB01-AG21	Seletor de plástico com chave de 2 posições fixas	1
3SU1001-1HB20-OAAO	Botão cogumelo plástico luminoso Ø22mm	1
O2D220	Sensor de reconhecimento de objetos ifm	1
E3JK-R4M1 2M	Sensor fotoelétrico	1
E2K-C25MF1 2M	Sensor de proximidade de longa distância	2
E2Q5-N20E1-M1	Sensor de proximidade indutivo de longo alcance quadrado	1
E2K-X4MF1 2M	Sensor de proximidade capacitivo	1
E2B-M12KS04-WP-B1 2M	Sensor indutivo	1
E3FA-DP11 2M	Sensor fotoelétrico difuso	1
E2E-X7B4-IL3	Sensor de proximidade <i>IO Link</i>	1
WEG Premium Efficiency 0.18 kW 4P 63 230/460 V	Motor trifásico com controlo de velocidade em função da frequência aplicada	1
-	Torre de sinalização	1

É importante referir que, apesar de os equipamentos de segurança e os dispositivos *IO Link* e a torre de sinalização terem sido instalados fisicamente na bancada, estes não foram interligados nem utilizados no âmbito do presente trabalho.

4.2.3. Softwares

As ferramentas de software utilizadas no desenvolvimento deste trabalho foram o *Sysmac Studio* e o *NB-Designer*. O *Sysmac Studio* constitui o “1º IDE (*Integrated Development Environment*) da indústria que integra lógica, *motion*, robótica, HMI, visão, deteção, segurança e simulação 3D numa única plataforma” [65]. Este *software* foi utilizado para a programação dos PLCs, uma vez que reúne várias funcionalidades num único local de trabalho de forma eficiente. Considerando que as HMIs em uso pertencem à série NB da Omron, o software escolhido para a programação foi o *NB-Designer*, uma ferramenta gratuita que “dispõe de todas as características necessárias para criar rapidamente ecrãs intuitivos para o operador com a máxima flexibilidade” [66].

4.3. Integração de componentes

Este subcapítulo apresenta a disposição dos equipamentos na bancada e descreve a forma como os componentes estão interligados, tanto a nível físico como lógico. Por fim, abordam-se os protocolos de comunicação utilizados e o processo de validação do funcionamento integrado do sistema.

4.3.1. Organização dos equipamentos na bancada

A disposição dos equipamentos foi realizada da seguinte forma:

- **Na placa de Alucobond**, foram instalados os sensores, atuadores, LEDs e as interfaces HMIs;
- **Nos perfis que separam a zona A da zona B**, foram integrados os restantes componentes do sistema;

Adicionalmente, na zona A foi instalado um perfil de suporte destinado à montagem de dois sensores (O2D220 e E3JK-R4M1). Entre as zonas B e C foi também integrado um perfil adicional, cuja função é permitir a fixação da torre de sinalização. Os sensores E2K-C25MF1 e E2Q5-N20E1-M1 foram montados entre os perfis horizontais da zona A. Para além disso, foi incorporada uma zona complementar acoplada à zona A, criada para integrar um sistema de rodas dentadas, o qual será acionado pelo motor instalado na placa superior da bancada. A Figura 22 ilustra a disposição dos diferentes componentes na bancada, destacando a zona complementar e os perfis adicionais incorporados na estrutura.

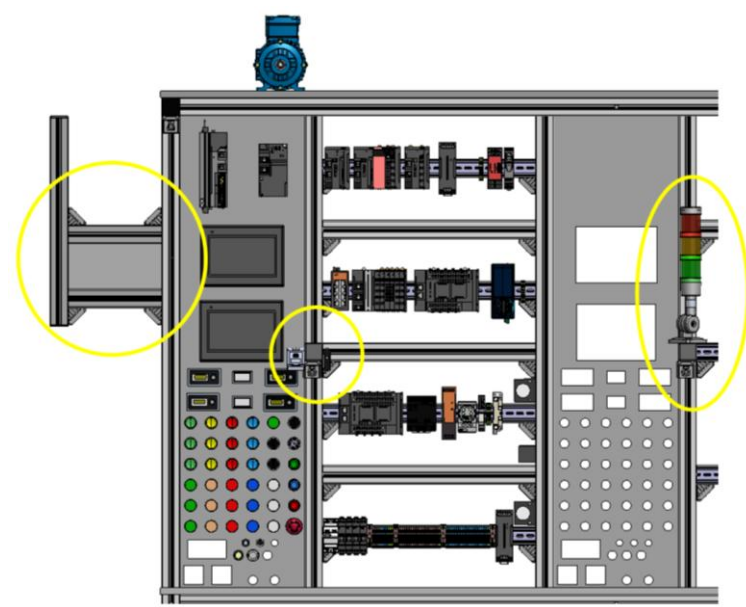


Figura 22 - Organização dos componentes na bancada

4.3.2. Integração física e lógica dos componentes

Devido à quantidade de equipamentos instalados na bancada, optou-se pela utilização de três fontes de alimentação, de forma a assegurar o fornecimento de energia adequado ao sistema.

Desenvolvimento

Cada fonte de alimentação fornece energia aos componentes do perfil em que se encontra instalada, com exceção da fonte 2, que, por questões de espaço, foi posicionada no último perfil. A numeração das fontes está representada na Figura 23.

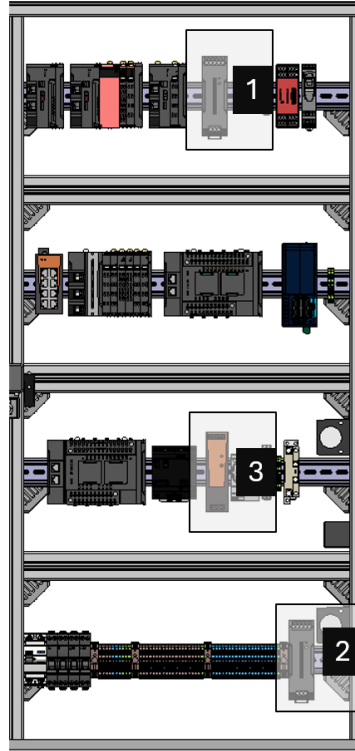


Figura 23 - Numeração das fontes de alimentação

Para além dos restantes equipamentos, a Fonte 2 é responsável por alimentar os barramentos de fase e neutro. Estes barramentos, por sua vez, distribuem energia aos botões, LEDs, HMIs, ao Flexy 205 e respetivos botões seletores e LED associados, à carta de expansão PF0730, à alimentação suplementar do PLC 1 e PLC 3, bem como a todos os sensores. A identificação dos PLCs encontra-se representada na Figura 24.

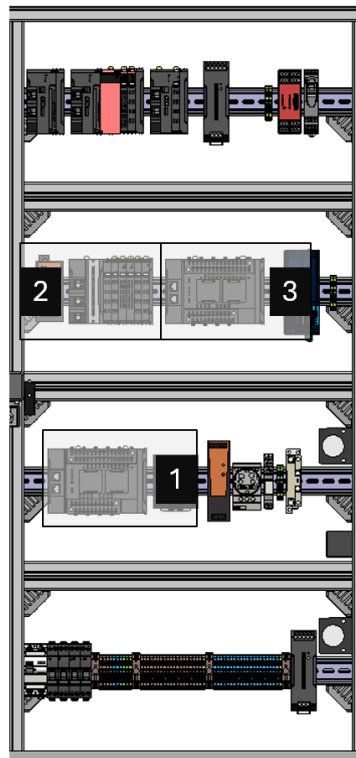


Figura 24 - Numeração dos PLCs

Os componentes montados na placa de Alucobond foram distribuídos e atribuídos aos diferentes PLCs.

Ao PLC 1 (NX1P2-1040DT1) estão associadas as primeiras duas filas de botões, as primeiras duas filas de LEDs e os sensores E2Q5-N20E1-M1, E3FA-DP11 e E2K-C25MF1. Os componentes associados ao PLC 1 estão destacados na Figura 25.

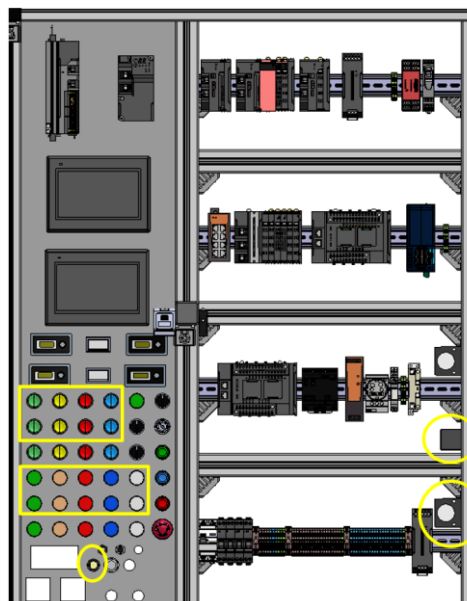


Figura 25 – Componentes associados ao PLC 1

Desenvolvimento

Ao PLC 2 (NX102-9020) estão associados um gerador de sinal 4-20 mA e um voltímetro de painel digital à carta de entradas e saídas analógicas (AD2203 e DA2603), respectivamente. Os componentes associados ao PLC 2 estão destacados na Figura 26.

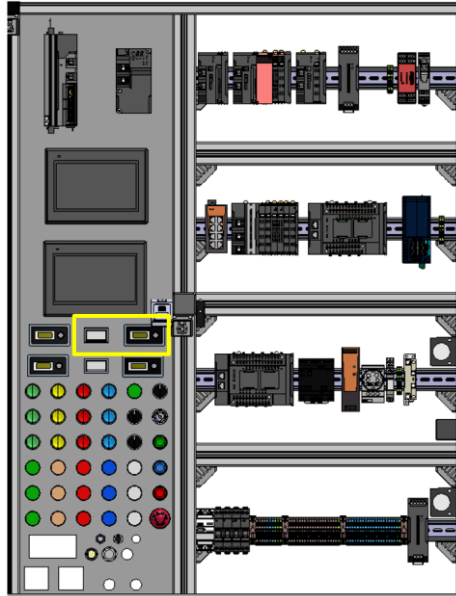


Figura 26 – Componentes associados ao PLC 2

Por fim, ao PLC 3 (NX1P2-1040DT1) estão associadas a terceira fila de botões e LEDs e os sensores E2K-X4MF1, E2B-M12KS04-WP-B1, E3JK-R4M1, E2K-C25MF1 E O2D220. Os componentes associados ao PLC 3 estão destacados na Figura 27.

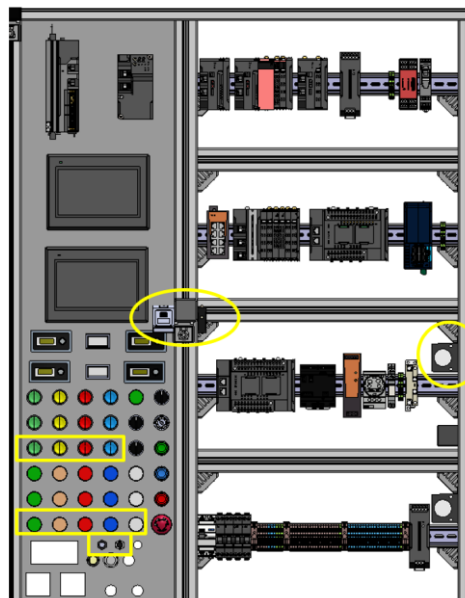


Figura 27 - Componentes associadas ao PLC 3

Os diagramas das ligações elétricas da bancada foram elaborados utilizando o software EPLAN (ver APÊNDICE B).

4.3.3. Protocolos de comunicação utilizados

Ao longo do desenvolvimento do projeto, foram adotados os protocolos de comunicação Ethernet/IP e EtherCAT. O protocolo mais utilizado foi o Ethernet/IP, responsável por estabelecer a comunicação entre os PLCs, as HMIs e o equipamento Flexy 205. Para facilitar essa interligação, foi utilizado um *switch*.

Por sua vez, o protocolo EtherCAT foi utilizado na comunicação entre o servodrives e o inversor de frequência, assim como entre estes últimos e o PLC 3.

4.3.4. Validação do funcionamento integrado

Todos os dispositivos instalados na bancada foram verificados quanto à sua ligação elétrica, sendo essa verificação assegurada pelos sinais luminosos emitidos por cada equipamento. Importa referir que apenas alguns desses dispositivos foram utilizados nos testes de validação do funcionamento integrado do sistema. Entre os equipamentos utilizados nestes testes encontram-se os botões, os LEDs, um gerador de sinal 4–20 mA, um voltímetro de painel digital e os sensores E2B-M12KS04-WP-B1, E3FA-DP11 e E2K-C25MF1.

A Figura 28 apresenta um exemplo de um dos equipamentos devidamente ligados. As luzes verde e laranja indicam que o dispositivo se encontra eletricamente alimentado e pronto a operar. Já as luzes laranja associadas à numeração correspondem às entradas digitais ativas. Estes sinais luminosos constituem uma forma simples e eficaz de identificar, de forma imediata, quais os componentes que se encontram em funcionamento.

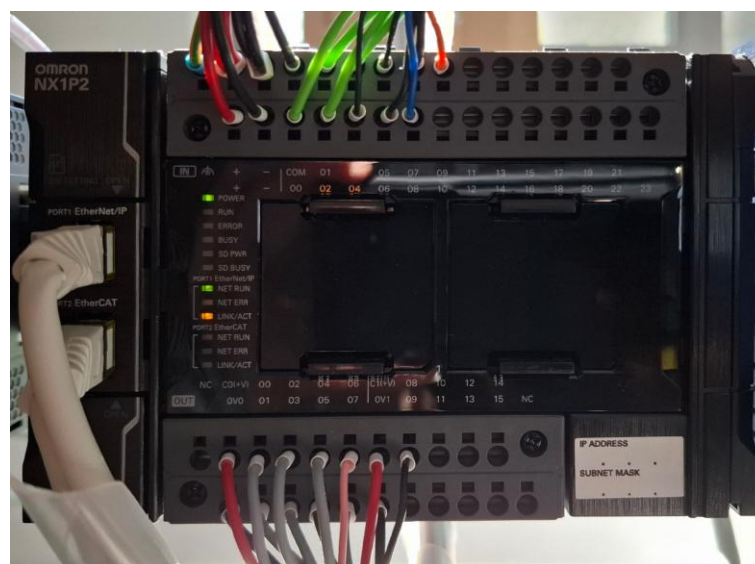


Figura 28 Equipamento eletricamente alimentado

A validação do funcionamento do sistema foi realizada em duas fases distintas.

Na fase inicial, foram desenvolvidos programas no *Sysmac Studio* com o objetivo de testar individualmente os componentes associados a cada PLC. Para tal, foi criado um projeto dedicado a cada controlador, através do qual se validaram as entradas e saídas digitais e

Desenvolvimento

analógicas, bem como o correto funcionamento dos sensores instalados. Nos programas desenvolvidos, implementou-se uma lógica de funcionamento simples, em que o acionamento dos botões ativa os LEDs correspondentes às suas respectivas cores. Do mesmo modo, a detecção efetuada pelos sensores resulta na ativação de um LED branco.

A Figura 29 apresenta o programa desenvolvido para o PLC 3, juntamente com o teste realizado ao botão e ao LED azul, permitindo exemplificar e validar a lógica implementada e o correto funcionamento das respectivas entradas e saídas digitais.

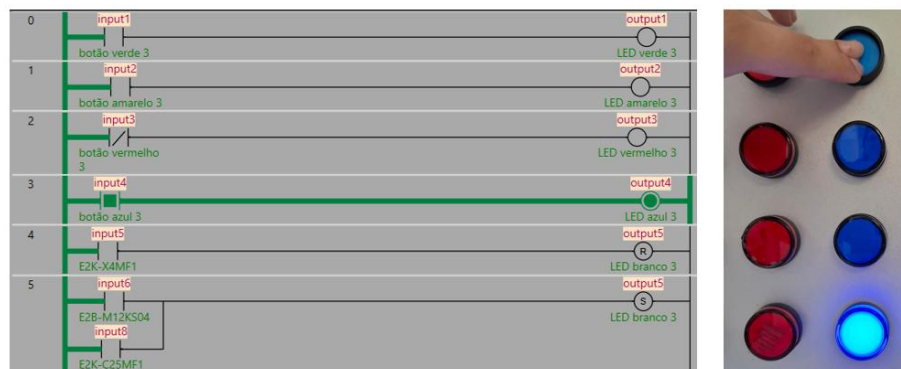


Figura 29 – Simulação e teste da lógica entre entradas e saídas digitais do PLC 3

A validação do correto funcionamento das entradas e saídas analógicas — representadas, respectivamente, pelo gerador de sinal 4–20 mA e pelo voltímetro de painel digital — foi realizada com recurso ao programa desenvolvido para o PLC 2. A Figura 30 apresenta a simulação do programa, evidenciando a relação direta entre os valores da entrada e da saída analógica. Já a Figura 31 mostra os dois equipamentos fisicamente ligados, de acordo com a lógica implementada no programa, verificando-se que a 50% do valor de entrada (12 A) corresponde um valor de saída aproximado de 5 V.



Figura 30 - Simulação da lógica entre entradas e saída analógica do PLC 2



Figura 31 – Equipamentos ligados para validação das variáveis analógicas

Na segunda fase, procedeu-se à programação de vários exercícios no *NB-Designer*, recorrendo aos diferentes componentes previamente testados. Os projetos desenvolvidos foram posteriormente transferidos para uma das HMIs, sobre a qual se realizaram testes de funcionamento simultâneo entre o *Sysmac Studio*, a HMI e a bancada didática, com o objetivo de validar a integração e a interação entre os diferentes elementos do sistema.

A Figura 32 apresenta um dos testes realizados na interface, no qual o acionamento dos botões ativa o LED correspondente à respetiva cor e, no caso do botão amarelo, incrementa, ainda, o valor de um contador. Na Figura 33 pode ver-se o LED físico em funcionamento.

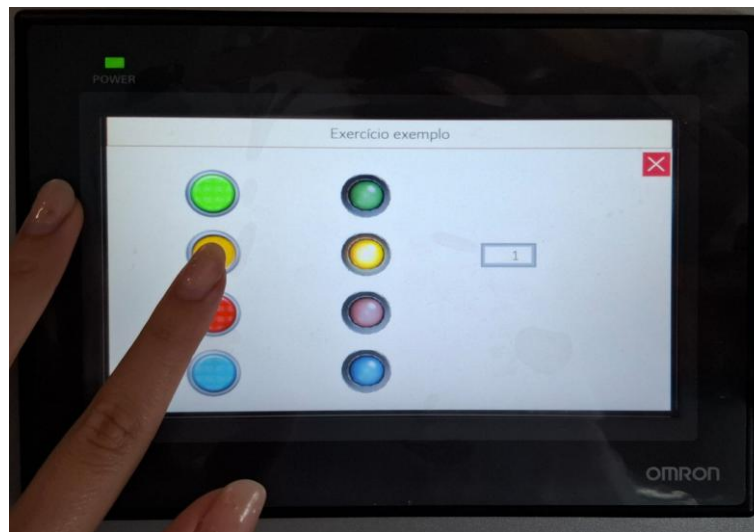


Figura 32 - Teste na interface



Figura 33 - LED amarelo ativo

4.4. Programação e interface com o utilizador

Tal como referido na Secção 4.3.3, a comunicação entre os PLCs e as HMIs é realizada através do protocolo Ethernet/IP. A ligação física entre os dispositivos é estabelecida por cabos Ethernet, com o apoio de um *switch*. Para que a comunicação seja bem-sucedida, é essencial a correta atribuição e identificação dos endereços IP de cada equipamento.

A programação da interface deve ser realizada através de um *software* específico e, posteriormente, transferida para o respetivo equipamento. No presente caso, conforme mencionado na Secção **Erro! A origem da referência não foi encontrada.**, utilizou-se ao *NB-D esigner*.

Antes de iniciar o desenvolvimento da interface, o utilizador deve adicionar os equipamentos a utilizar à área de trabalho do *software* e proceder à sua correta identificação, como ilustrado na Figura 34.

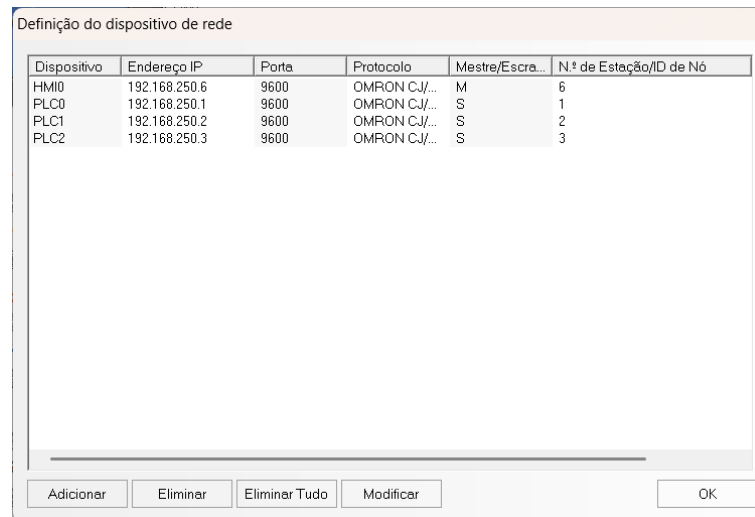


Figura 34 - Configuração inicial dos equipamentos no NB-Designer

Após a programação da interface HMI, o utilizador pode transferir o projeto para a HMI e, em seguida, testar os programas previamente desenvolvidos no *software* de programação dos PLCs. Para tal, deve-se ativar o modo *online* no *Sysmac Studio*, garantindo a comunicação entre o PLC e a HMI, e posteriormente, realizar a transferência do programa para o PLC.

O processo de criação, desenvolvimento e teste de projetos em ambos os *softwares* encontra-se descrito de forma detalhada no manual de utilização (ver APÊNDICE C).

4.5. Comunicação entre módulos e acesso remoto

A comunicação entre módulos é estabelecida através do protocolo Ethernet/IP, sendo utilizado um *switch* para facilitar a interligação entre os dispositivos. A Figura 35 apresenta a representação esquemática das comunicações.

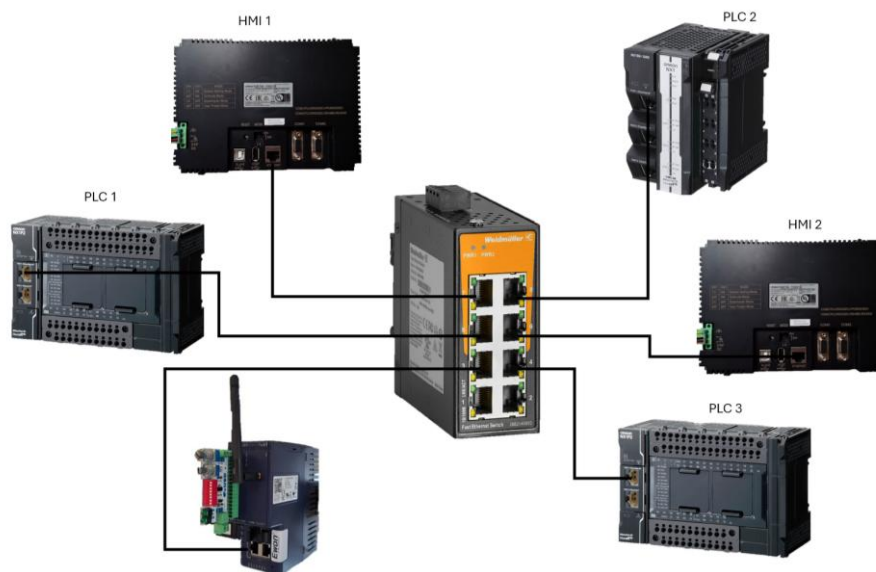


Figura 35 - Esquema das comunicações entre módulos via Ethernet/IP

No entanto, a comunicação entre o Servo Drive (R88D-1SN08H-ECT), o Inversor (3G3M1-AB004-ECT) e o PLC 3 (NX1P2-1040DT1) é realizada, ponto a ponto, através do protocolo EtherCAT. A Figura 36 apresenta a representação esquemática desta comunicação.

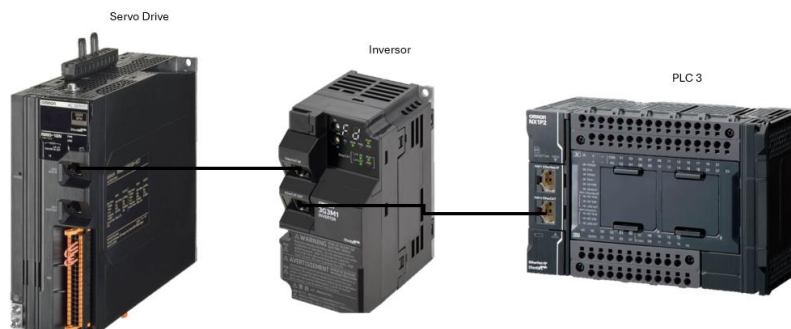


Figura 36 - Esquema das comunicações entre módulos via EtherCAT

4.6. Desafios enfrentados e como foram resolvidos

O desenvolvimento deste projeto revelou-se particularmente exigente, envolvendo a montagem da bancada, a instalação de componentes, as ligações elétricas e a programação em diferentes *softwares*. Embora a parte mecânica tenha sido relativamente simples, as demais etapas implicaram a aquisição progressiva de novas competências técnicas ao longo do trabalho.

Durante o processo, surgiram alguns problemas técnicos, sobretudo nas ligações elétricas, o que exigiu cuidados redobrados para garantir a segurança e o correto funcionamento dos sistemas. Limitações de orçamento, tempo e equipamentos também constituíram obstáculos, sendo necessário avançar com os dispositivos disponíveis para realizar os exercícios de teste e validar os objetivos propostos.

A configuração dos controladores representou outro desafio relevante, exigindo atenção meticulosa para assegurar a execução dos testes físicos sem ocorrência de erros.

Em síntese, os desafios enfrentados proporcionaram a aquisição de competências técnicas valiosas e a implementação de soluções pragmáticas, permitindo o progresso consistente e o cumprimento dos objetivos do projeto.

Desenvolvimento

5. Resultados

Este capítulo apresenta o resultado da bancada didática, bem como os testes realizados e os respectivos resultados. Inclui, ainda, uma comparação com os objetivos previamente definidos.

5.1. Protótipo desenvolvido

A Figura 37 mostra o protótipo desenvolvido da bancada didática completo, enquanto a Figura 38 mostra apenas a zona A da bancada, que aloca os equipamentos essencialmente da *Omron*.



Figura 37 - Bancada didática

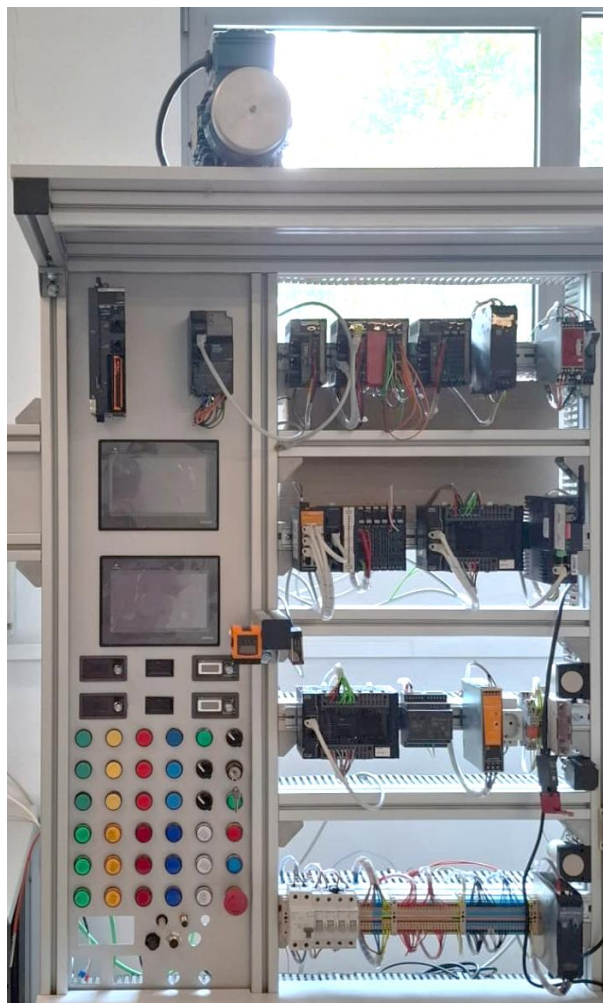


Figura 38 - Zona A da bancada didática

O APÊNDICE D apresenta fotografias ilustrativas das várias etapas do processo de desenvolvimento da bancada didática.

5.2. Testes realizados e respetivos resultados

Com o objetivo de possibilitar a comparação desta bancada com outras soluções de automação, tanto em contexto industrial como académico, tornou-se necessário realizar testes e proceder à análise dos respetivos resultados.

5.2.1. Testes realizados

Para o efeito, foram elaborados exercícios de teste a desenvolver nos ambientes de programação *Sysmac Studio* e *NB-Designer*. Estes exercícios foram compilados no manual de utilização, que inclui uma breve introdução ao *Grafcet* e *Ladder*, bem como instruções passo a passo para a criação e desenvolvimento de projetos em ambos os *softwares*, simulação online e teste físico na bancada.

No total, foram desenvolvidos seis exercícios, dois dos quais com alíneas, organizados por ordem crescente de dificuldade.

Considerando que a bancada didática tem como objetivo apoiar o processo de ensino-aprendizagem da automação, os exercícios 1, 2, 3 e 4.2 foram concebidos de forma simples. O intuito era permitir que utilizadores sem qualquer conhecimento prévio na área pudessem testar a bancada.

Dessa forma, tornou-se possível avaliar a sua utilidade não apenas para quem já possui experiência e familiaridade com os *softwares* envolvidos, mas também para aqueles que pretendem iniciar a aprendizagem neste domínio.

Antes dos exercícios propostos, foi apresentado um exercício resolvido. Neste explicou-se todo o processo, desde a elaboração do *Grafcet* e *Ladder* até à simulação na bancada e à programação da HMI.

Por fim, foram apresentadas as soluções desenvolvidas em *Grafcet* e *Ladder* para a resolução de cada exercício, assim como a programação efetuada na interface HMI.

Os exercícios foram realizados por um conjunto de utilizadores, com e sem experiência prévia. Posteriormente, estes responderam a um questionário (ver APÊNDICE E), que permitiu a análise estatística e a obtenção de resultados. As respostas eram predominantemente de escolha múltipla, com algumas questões abertas, e estavam organizadas em diferentes secções: Organização da atividade, Conteúdo técnico, Desenvolvimento pessoal e Ergonomia e envolvimento emocional. As duas primeiras questões referiam-se ao perfil do participante, incluindo idade e nível de experiência prévia.

O questionário foi respondido por um total de dez participantes, sendo todas as respostas completamente anónimas.

5.2.2. Resultados obtidos

A análise estatística dos resultados foi realizada no Excel e organizada da seguinte forma:

- Análise do perfil;
- Organização da atividade
- Conteúdo técnico;
- Experiência vs. Dificuldade;
- Desenvolvimento pessoal;
- Experiência vs. Desafio;
- Experiência vs. Capacidade final;
- Exercícios resolvidos vs. Confiança.
- Ergonomia de envolvimento emocional;

5.2.2.1. Análise de perfil

A análise do perfil dos participantes gerou os gráficos apresentados na Figura 39 e na Figura 40, que representam, respetivamente, a distribuição etária e a distribuição do nível de experiência prévia.

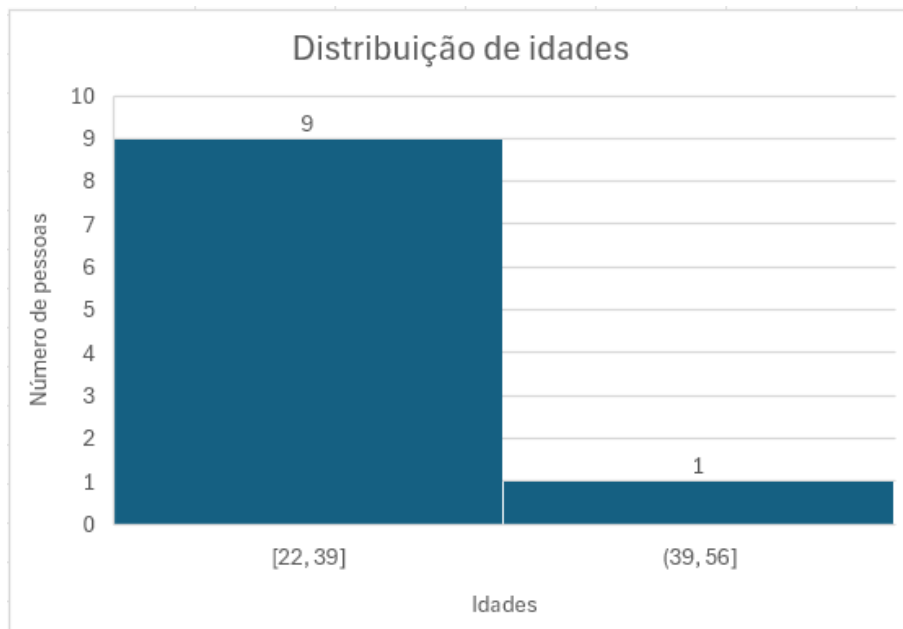


Figura 39 - Gráfico de distribuição de idades

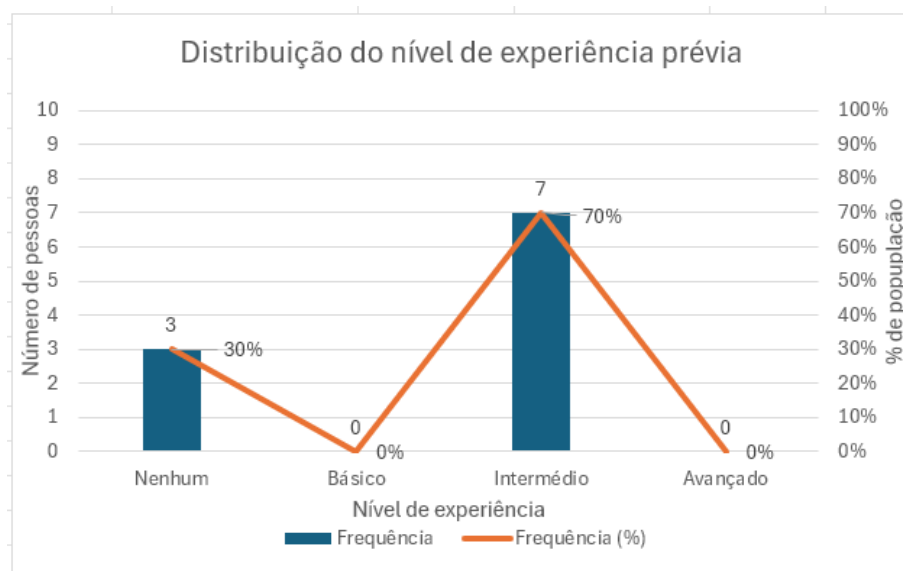


Figura 40 - Gráfico de distribuição do nível de experiência prévia

A partir dos gráficos, conclui-se que apenas um participante se encontra fora da faixa etária entre 22 e 39 anos. Verifica-se ainda que 30% dos participantes não possuíam qualquer experiência em automação industrial, enquanto 70% indicaram ter um nível de experiência prévio intermédio.

A Figura 41 apresenta um quadro resumo das estatísticas, no qual se encontram os valores da média, do desvio padrão e do número de respostas da pergunta 1 e da pergunta 2.

	Pergunta 1	Pergunta 2
Média	28	2,4
Desvio Padrão	10	0,9
Nº de respostas	10	10

Figura 41- Quadro resumo das estatísticas - Análise de Perfil

Os resultados obtidos mostram que a idade média dos participantes é de 28 anos, com um desvio padrão de 10 anos. Isso significa que aproximadamente 68% dos participantes têm idades compreendidas entre 18 e 38 anos.

Relativamente à pergunta 2, verificou-se que a média do nível de experiência prévia corresponde a 2,4 numa escala de um a quatro. Este valor sugere que, no geral, os participantes apresentam um nível de experiência ligeiramente acima do nível 'Básico', aproximando-se do 'Intermédio'. Contudo, o desvio padrão de 0,9 evidencia uma dispersão considerável nas respostas, refletindo a existência de participantes distribuídos por diferentes níveis de experiência. Essa variação confirma os dados apresentados no gráfico da Figura 40.

5.2.2.2. Organização da atividade

Nesta secção, avaliou-se a clareza na apresentação dos objetivos práticos dos exercícios propostos (pergunta 3), a qualidade das explicações fornecidas (pergunta 5) e a suficiência dos materiais e instruções disponibilizados para a compreensão e execução dos exercícios (pergunta 6).

Os gráficos da Figura 42 revelam que a avaliação foi positiva.

Resultados

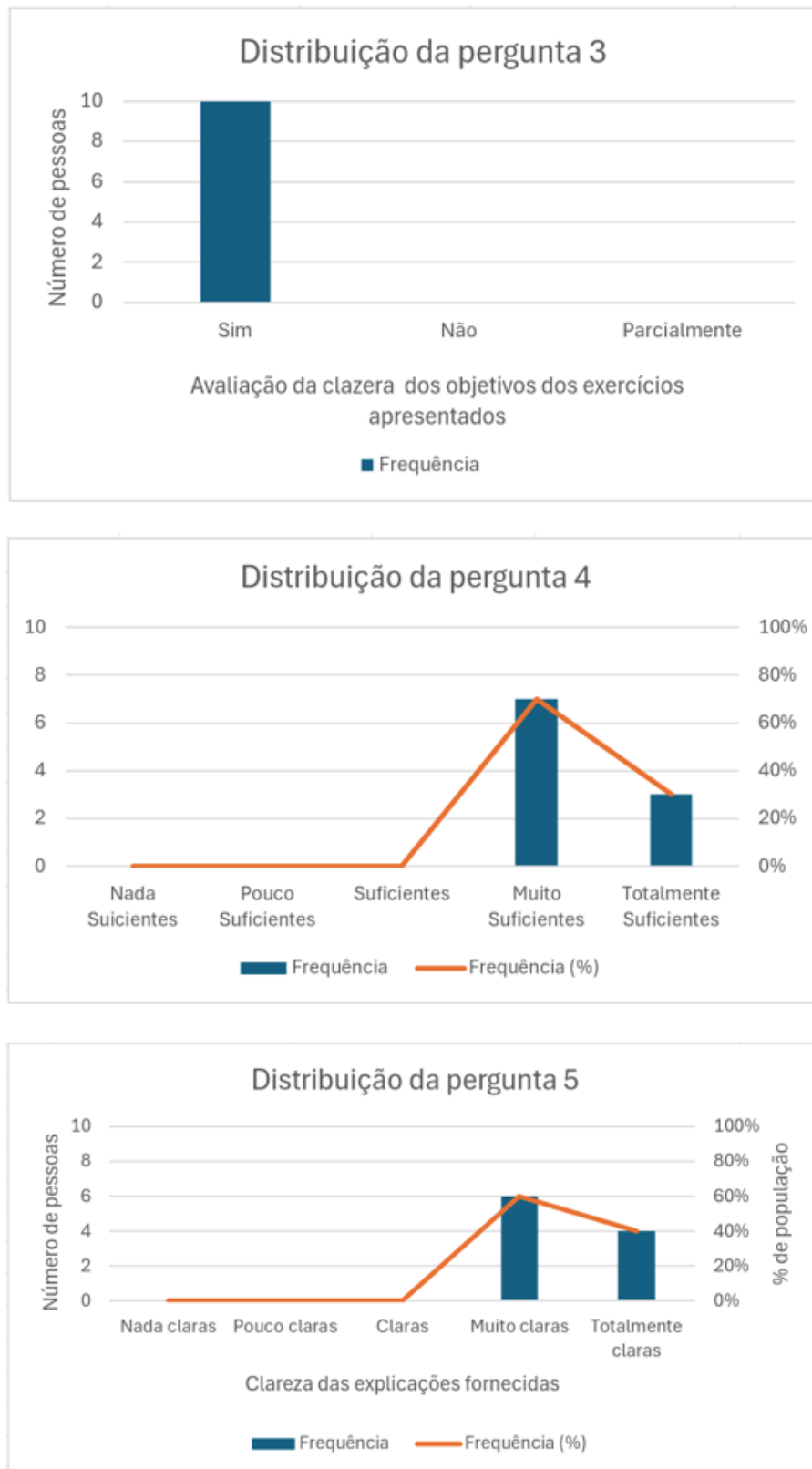


Figura 42 - Gráficos de análise da organização da atividade

A partir do primeiro gráfico, verifica-se que todos os participantes consideraram que os objetivos dos exercícios práticos foram apresentados com clareza. Quanto às explicações

fornecidas, 60% avaliaram-nas como muito claras, enquanto os restantes 40% consideraram-nas totalmente claras. Relativamente aos materiais e instruções disponibilizados, 70% dos participantes consideraram-nos muito suficientes para compreender e concluir os exercícios, e os restantes 30% avaliaram-nos como totalmente suficientes.

A Figura 43 apresenta um quadro resumo das estatísticas, no qual se encontram os valores da média, do desvio padrão e do número de respostas das perguntas 3 a 5.

	Organização da atividade		
	Pergunta 3	Pergunta 4	Pergunta 5
Média	1	4,3	4,4
Desvio Padrão	0,0	0,5	0,5
Nº de respostas	10	10	10

Figura 43 - Quadro resumo das estatísticas - Organização da atividade

Os resultados obtidos indicam que todos os participantes consideraram que os objetivos práticos foram apresentados com clareza, como evidenciado no primeiro gráfico da Figura 42.

A avaliação da Pergunta 4, relativa à suficiência dos materiais e das instruções fornecidas para a compreensão e resolução dos exercícios, revelou uma média de 4,3 numa escala de um a cinco. Este valor evidencia uma perceção muito positiva por parte dos participantes, próxima do valor máximo da escala. O desvio padrão de 0,5 indica uma baixa variabilidade nas respostas.

De forma análoga, a avaliação da Pergunta 5, referente à clareza das explicações fornecidas, apresentou uma média de $4,4 \pm 0,5$, comprovando a consistência das perceções positivas.

Para avaliar a consistência interna das perguntas relativas ao tema 'Organização da atividade', foi calculado o alfa de Cronbach, uma medida de fiabilidade que indica até que ponto as respostas de diferentes itens estão correlacionadas entre si. Como as respostas à Pergunta 3 foram unânimes, procedeu-se ao cálculo do alfa de Cronbach padronizado, considerando apenas a correlação média (\bar{r}) entre as Perguntas 4 e 5.

Os resultados revelaram um alfa igual a 0,89, indicando uma boa consistência interna das perguntas. Este valor sugere que, de forma geral, os participantes que consideram o material e as explicações suficientes tendem também a avaliar as instruções como claras, comprovando a fiabilidade das respostas dos participantes.

5.2.2.3. Conteúdo técnico

Nesta secção, avaliou-se a dificuldade dos exercícios, a perceção sobre se o *Grafcet* facilita a programação em *Ladder*, a facilidade de utilização do *Sysmac Studio*, a ocorrência de dificuldades técnicas com o PLC e se os participantes consideraram que a utilização da HMI contribuiu para a compreensão dos exercícios.

Para analisar a dificuldade dos exercícios, as respostas qualitativas foram convertidas em valores numéricos, sendo 1 correspondente a 'Muito fácil' e 5 a 'Muito difícil'. Em seguida,

Resultados

calculou-se a média de dificuldade de cada exercício. Os resultados foram organizados por ordem decrescente no gráfico ilustrado na Figura 44.

Importa referir que os participantes sem experiência prévia resolveram apenas os quatro exercícios mais simples e que apenas 60% dos participantes resolveram o exercício 6. O gráfico de distribuição da resolução dos exercícios está apresentado na Figura 45.

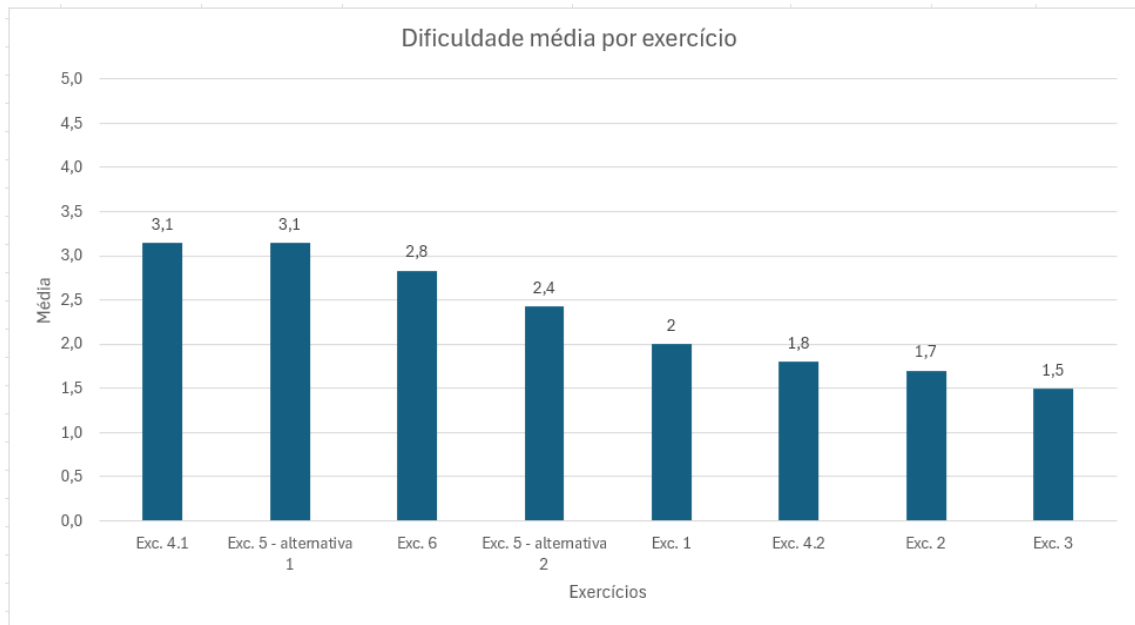


Figura 44 - Gráfico de dificuldade média pro exercício

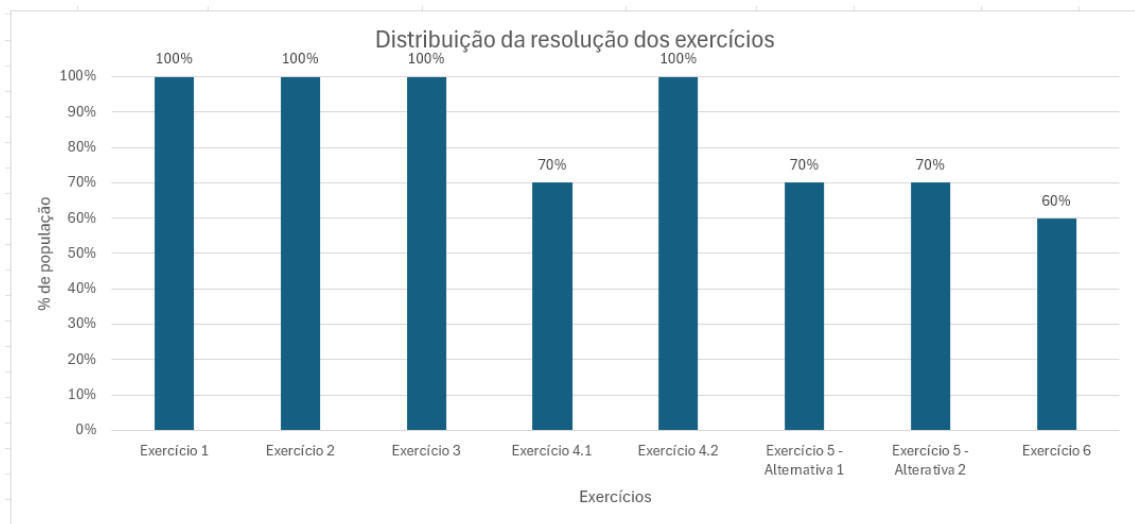


Figura 45 – Gráfico de distribuição da resolução dos exercícios

O gráfico confirma que os exercícios 1, 2, 3 e 4.2 apresentaram as médias mais baixas, sendo maioritariamente avaliados como 'Muito fáceis' ou 'Fáceis'. Entre estes, o Exercício 1 registou a maior média, destacando-se como o menos fácil do grupo.

Por outro lado, os restantes exercícios, resolvidos apenas por participantes com experiência prévia em automação industrial, apresentaram uma dificuldade média máxima classificada

como 'Moderada', indicando que, embora as instruções possam ser aperfeiçoadas, foram suficientes para a resolução dos exercícios.

Os exercícios 4.1 e 5 – alternativa 1 foram considerados os mais difíceis, apresentando uma média de dificuldade de 3,1, enquanto o exercício 3 foi apontado como o mais fácil, com média de dificuldade de 1,5.

Os restantes conteúdos técnicos foram avaliados unanimemente de forma positiva, à exceção da facilidade de utilização do Sysmac Studio, em que três participantes atribuíram a classificação 'Neutro', como se pode ver na Figura 46.

	Pergunta 8	Pergunta 9	Pergunta 10	Pergunta 11
1	Sim, considero que o a elaboração do Grafcet ajuda muito	Neutro	Não	Sim
2	Sim, considero que o a elaboração do Grafcet ajuda muito	Sim	Não	Sim
3	Sim, considero que o a elaboração do Grafcet ajuda muito	Sim	Não	Sim
4	Sim, considero que o a elaboração do Grafcet ajuda muito	Neutro	Não	Sim
5	Sim, considero que o a elaboração do Grafcet ajuda muito	Neutro	Não	Sim
6	Sim, considero que o a elaboração do Grafcet ajuda muito	Sim	Não	Sim
7	Sim, considero que o a elaboração do Grafcet ajuda muito	Sim	Não	Sim
8	Sim, considero que o a elaboração do Grafcet ajuda muito	Sim	Não	Sim
9	Sim, considero que o a elaboração do Grafcet ajuda muito	Sim	Não	Sim
10	Sim, considero que o a elaboração do Grafcet ajuda muito	Sim	Não	Sim

Figura 46 - Avaliação dos conteúdos técnicos

Os dados estatísticos apresentados no quadro da Figura 47 resumem os resultados exibidos nos gráficos das figuras – Figura 44 e Figura 45 – bem como a avaliação dos conteúdos técnicos apresentada na Figura 46.

	Conteúdo técnico							
	Pergunta 7							
	Exercício 1	Exercício 2	Exercício 3	Exercício 4.1	Exercício 4.2	Exercício 5 - Alternativa 1	Exercício 5 - Alterativa 2	Exercício 6
Média	2,0	1,7	1,5	3,1	1,8	3,1	2,4	2,8
Desvio Padrão	0,8	0,6	0,5	0,7	0,7	0,4	0,5	0,4
Nº de respostas	10	10	10	7	10	7	7	6
	Conteúdo técnico							
	Pergunta 8							
	Pergunta 8	Pergunta 9	Pergunta 10	Pergunta 11				
Média	1	1,3	3	1				
Desvio Padrão	0,0	0,5	0,0	0,0				
Nº de respostas	10	10	10	10				

Figura 47 - Quadro resumo das estatísticas - Conteúdo técnico

Para avaliar a consistência interna da dificuldade dos exercícios foi calculado o alfa de Cronbach para a Pergunta 7.

Os resultados revelaram um alfa de Cronbach igual a 0,6, valor considerado baixo, indicando uma consistência interna moderada das respostas. Este resultado sugere que os alunos não avaliaram todos os exercícios de forma homogénea, comprovando a existência de diferentes níveis de dificuldade entre os exercícios.

5.2.2.4. Experiência vs. Dificuldade

Como os exercícios não foram resolvidos na totalidade por todos os participantes, analisou-se a relação entre a experiência prévia em automação industrial e a dificuldade percebida na resolução dos exercícios. A Figura 48 apresenta o gráfico de nível de dificuldade médio por nível de experiência prévia.

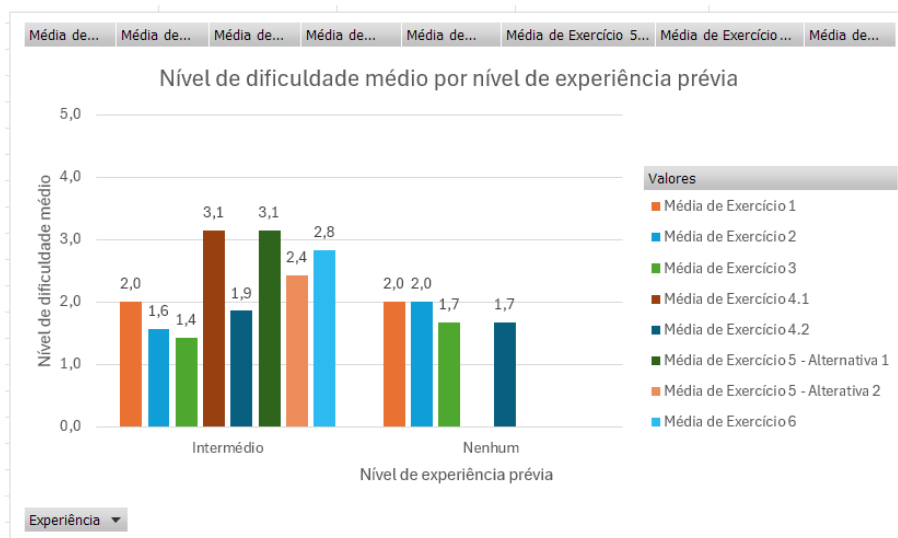


Figura 48 - Gráfico de Experiência vs. Dificuldade

Da análise ao gráfico, verifica-se que a experiência prévia na área facilita a perceção e a realização dos exercícios, resultando numa menor dificuldade sentida. No entanto, o nível médio de dificuldade reportado pelos participantes sem qualquer conhecimento prévio em automação foi apenas ligeiramente superior, na maioria dos exercícios, o que evidencia que estes são acessíveis e podem ser realizados mesmo por iniciantes.

Embora a comparação só seja totalmente válida nos exercícios resolvidos por 100% da população, observa-se que os exercícios realizados pelos participantes com experiência prévia intermédia foram avaliados como de dificuldade 'Moderada'. Pode inferir-se, assim, que a dificuldade sentida por aqueles sem experiência na área teria sido consideravelmente superior nesses exercícios.

5.2.2.5. Desenvolvimento pessoal

Nesta secção, os participantes avaliaram a utilidade dos exercícios para a sua aprendizagem em automação (Pergunta 13), o nível de desafio percebido (Pergunta 14), a contribuição dos exercícios para a sua compreensão da automação industrial (Pergunta 15), o nível de confiança adquirido após a sua realização (Pergunta 16) e a capacidade de programar um sistema simples após a atividade (Pergunta 17).

Para analisar o desenvolvimento pessoal global, recorreu-se à representação em gráfico de radar. Para tal, as respostas foram convertidas em valores numéricos, como ilustrado na Figura

49, a partir dos quais se calculou a média correspondente a cada exercício. O gráfico encontra-se representado na Figura 50.

Pergunta 13	Pergunta 14	Pergunta 15	Pergunta 16	Pergunta 17	Código
Nada úteis	Nada desafiantes	Não contribuíram nada	Diminuíram muito	Nada capaz	1
Pouco úteis	Desafiantes	Contribuíram pouco	Diminuíram um pouco	Pouco capaz	2
Neutro	Muito desafiantes	Contribuíram muito	Mantiveram	Capaz	3
Úteis			Aumentaram	Muito capaz	4
Muito úteis			Aumentaram muito	Totalmente capaz	5

Figura 49 - Código numérico associado às respostas das questões 13 a 17

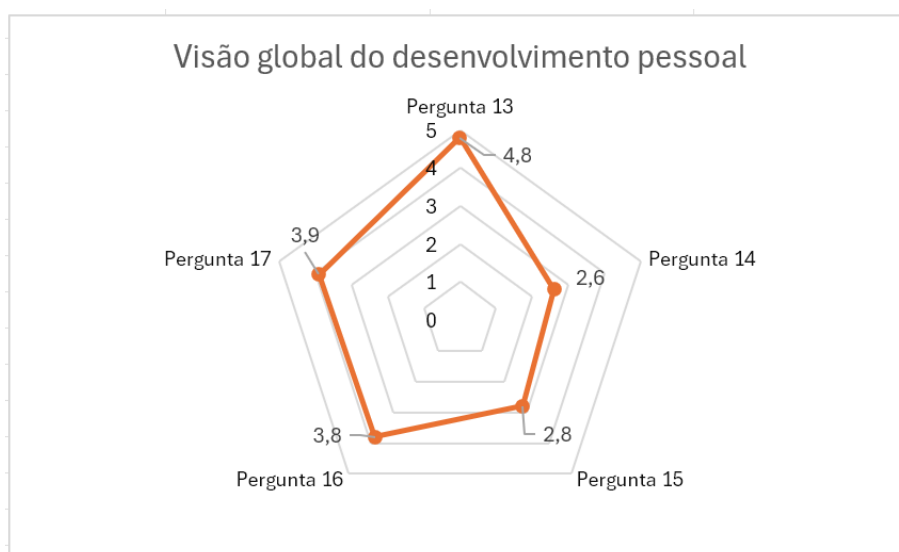


Figura 50 - Gráfico da visão global do desenvolvimento pessoal

Do gráfico conclui-se que todos os participantes relataram uma evolução pessoal em todas as dimensões avaliadas. Em síntese, os resultados indicam que, de modo geral, os participantes consideraram os exercícios muito úteis para a sua aprendizagem em automação industrial. Além disso avaliaram-nos como simultaneamente desafiantes e com forte contributo para a compreensão da área, potenciando a sua confiança e a perceção de capacidade para resolver exercícios simples após a atividade.

A Figura 51 apresenta o quadro resumo das estatísticas, no qual se encontram os valores da média, do desvio padrão e do número de respostas da Pergunta 13 à Pergunta 17.

	Desenvolvimento pessoal				
	Pergunta 13	Pergunta 14	Pergunta 15	Pergunta 16	Pergunta 17
Média	4,8	2,6	2,8	3,8	3,9
Desvio Padrão	0,4	0,5	0,4	0,6	1,0
Nº de respostas	10	10	10	10	10

Figura 51 - Quadro resumo das estatísticas - Desenvolvimento pessoal

Os dados mostram que a média de todas as perguntas se encontra muito próxima do valor máximo da escala, evidenciando uma perceção globalmente muito positiva por parte dos participantes relativamente a todas as questões de desenvolvimento pessoal. A maioria das

Resultados

perguntas apresenta baixos valores de desvio padrão, o que indica baixa variabilidade nas respostas. A exceção é a Pergunta 17, cujo desvio padrão de 1 evidencia maior dispersão, indicando que nem todos os participantes partilham da mesma percepção.

Para avaliar a consistência interna dessas perguntas, foi calculado o alfa de Cronbach padronizado, considerando a correlação média (\bar{r}) entre os itens, dado que foram utilizadas diferentes escalas em cada um. O alfa obtido, igual a 0,84, indica boa consistência interna das perguntas, comprovando a fiabilidade das respostas dos participantes.

5.2.2.6. Experiência vs. Desafio e Experiência vs. Capacidade

Visto que a população apresentava diferentes níveis de desafio, foi realizada uma análise à relação entre a experiência prévia e o desafio sentido, bem como entre a experiência prévia e a percepção de capacidade para resolver exercícios simples após a realização da atividade.

Da primeira análise resultaram dois gráficos de barras. O primeiro, ilustrado na Figura 52, representa a relação entre o nível de experiência prévia e o nível médio de desafio sentido em cada exercício. O segundo, apresentado na Figura 53, ilustra a proporção do nível de desafio percebido por cada nível de experiência prévia.

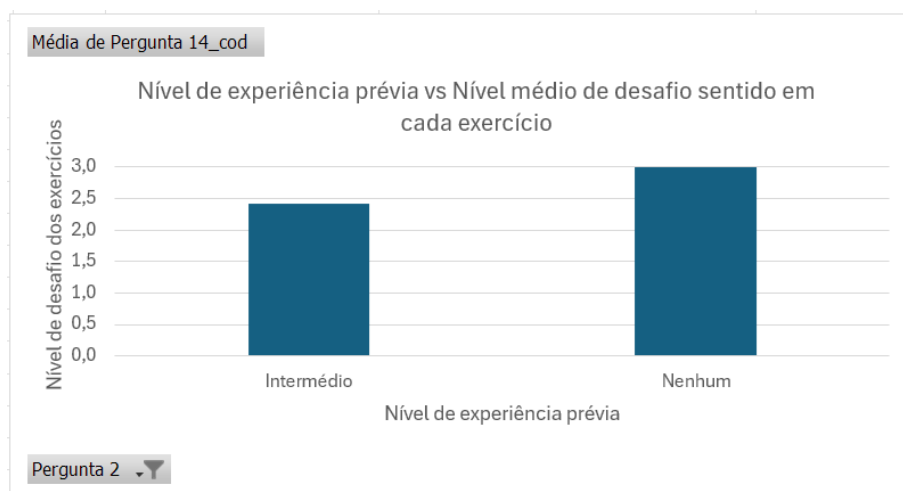


Figura 52 - Gráfico de Experiência vs. Desafio

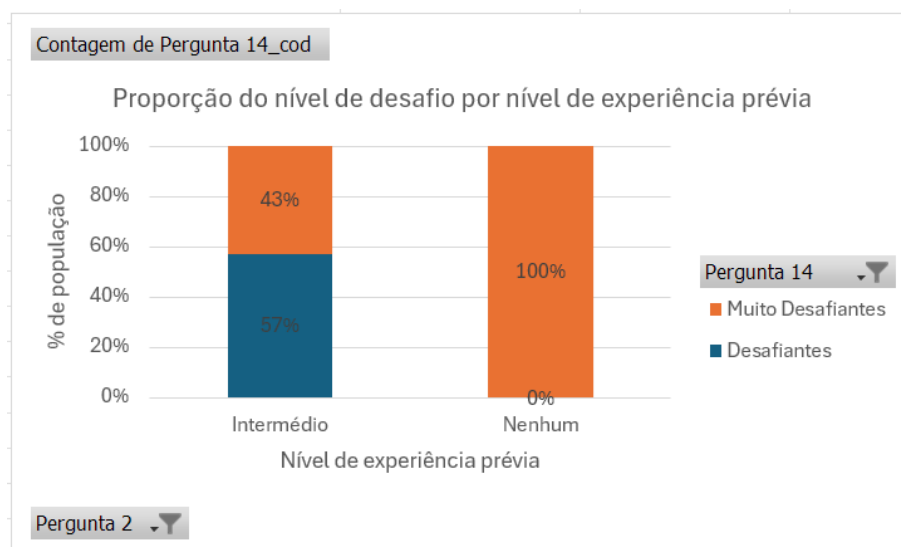


Figura 53 -Gráfico de proporção do nível de desafio por nível de experiência prévia

A partir do primeiro gráfico, observa-se que o nível de experiência prévia relaciona-se diretamente com nível de desafio sentido nos exercícios. Os participantes sem experiência consideraram os exercícios, em média, mais desafiantes do que aqueles com experiência intermédia. Esta tendência é confirmada pelo segundo gráfico, que mostra que todos os participantes sem experiência prévia avaliaram os exercícios como 'Muito desafiantes'. Entre os participantes com experiência intermédia, 43% consideraram-nos 'Muito desafiantes' e 57% classificaram-nos como 'Desafiantes'.

Da segunda análise resultou um gráfico de barras, ilustrado na Figura 54, que relaciona o nível de experiência prévia com a percepção de capacidade para resolver exercícios simples no final da atividade.

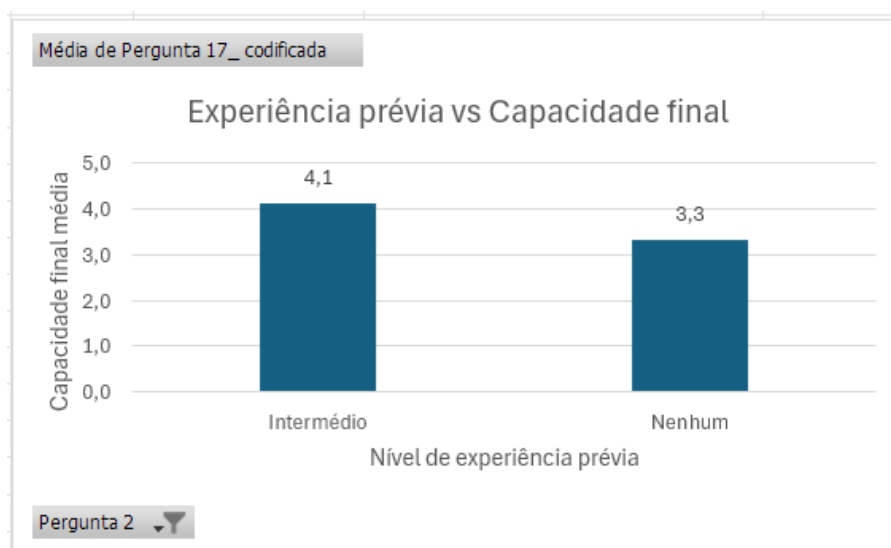


Figura 54 - Gráfico de experiência vs. Capacidade

A partir do gráfico, observa-se que a percepção de capacidade é maior entre os participantes com conhecimento prévio na área. No entanto, os resultados indicam que os exercícios

Resultados

resolvidos pelos participantes sem experiência também aumentaram a percepção de capacidade para resolver exercícios simples de automação. Em média, os participantes com nível de experiência prévia 'Intermédio' relataram sentir-se muito capazes de programar um sistema simples após a resolução dos exercícios, enquanto os participantes sem qualquer experiência prévia consideraram-se apenas capazes.

5.2.2.7. Exercícios resolvidos vs. Confiança

Outro aspeto analisado foi a relação entre a melhoria da confiança dos participantes e a quantidade de exercícios resolvidos. Para tal, foi criado o gráfico de barras ilustrado na Figura 55.

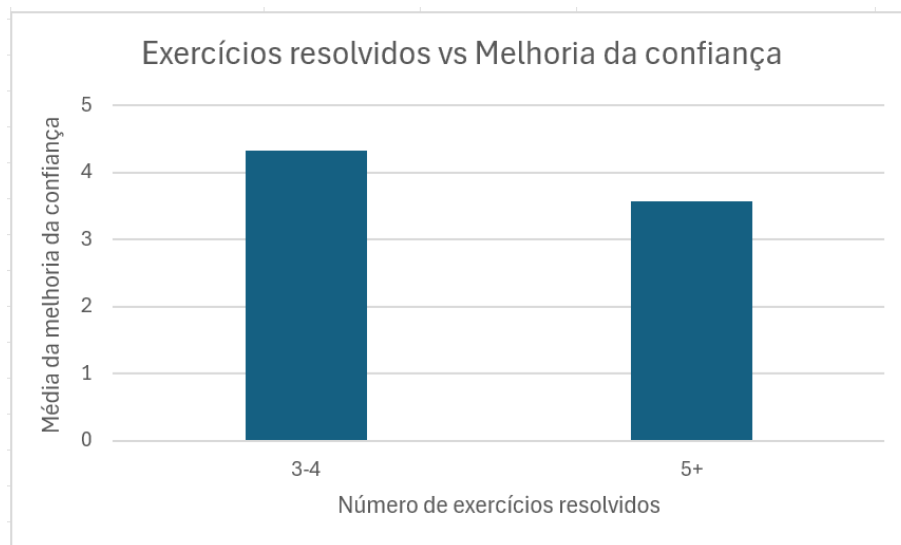


Figura 55 - Gráfico de Exercícios resolvidos vs. Melhoria da Confiança

O gráfico mostra que o nível de confiança aumentou mais entre os participantes que resolveram até quatro exercícios, correspondendo àqueles sem experiência prévia na área de automação. Por outro lado, os participantes que resolveram mais exercícios, e consequentemente possuíam maior experiência, viram a confiança ser mantida ou aumentar apenas ligeiramente.

5.2.2.8. Ergonomia e envolvimento emocional

Por fim, avaliou-se a ergonomia e o conforto da bancada didática, bem como o grau de interesse dos participantes na atividade e a sua vontade de participar em futuras atividades práticas sobre automação industrial.

A bancada foi considerada 'Ergonómica e confortável' por 60% dos participantes, enquanto os restantes 40% a avaliaram como 'Muito ergonómica e confortável'. Quanto ao envolvimento emocional, a avaliação geral foi positiva, pois todos consideraram a sua participação na atividade como 'Interessante' ou 'Muito interessante'.

Adicionalmente, 80% dos participantes manifestaram interesse em realizar futuras atividades de automação industrial, enquanto os restantes 20% responderam 'Talvez'.

A Figura 56 apresenta o código atribuído às opções de resposta das perguntas 18, 21 e 22, enquanto na Figura 57 é apresentado o quadro resumo dos dados estatísticos.

Código	Pergunta 18	Pergunta 21	Pergunta 22
1	Muito pouco ergonómica e confortável	Nada interessante	Não
2	Pouco ergonómica e confortável	Pouco interessante	Talvez
3	Ergonómica e confortável	Neutro	Sim
4	Muito ergonómica e confortável	Interessante	
5		Muito interessante	

Figura 56 - Código associado às opções de resposta das perguntas 18, 21 e 22

	Ergonomia e envolvimento emocional		
	Pergunta 18	Pergunta 21	Pergunta 22
Média	3,4	4,5	2,8
Desvio Padrão	0,5	0,5	0,4
Nº de respostas	10	10	10

Figura 57 - Quadro resumo das estatísticas - Ergonomia e Envolvimento pessoal

Os dados referentes à Pergunta 18, que avalia a ergonomia e o conforto da bancada, evidenciam uma percepção global muito positiva. A média encontra-se próxima do valor máximo da escala e o desvio padrão, de 0,5, é baixo, indicando reduzida variabilidade nas respostas.

O mesmo se verifica nas Perguntas 21 e 22, que avaliam o envolvimento emocional dos participantes na atividade. Também nestes casos as médias estão muito próximas do valor máximo da respetiva escala e os desvios padrão são baixos.

Dado que as Perguntas 21 e 22 abordam um tema distinto da Pergunta 18, foi analisada apenas a correlação entre as primeiras e calculado o alfa de Cronbach padronizado. O valor obtido, de 0,67, é considerado aceitável e reflete uma consistência moderada entre as respostas. Este valor sugere que, embora as Perguntas 21 e 22 estejam relacionadas, a consistência não é elevada. Assim, considerar a atividade interessante não está necessariamente associado a manifestar interesse em realizar futuras atividades sobre automação industrial.

5.3. Comparação com objetivos definidos

O principal objetivo deste projeto consistiu em desenvolver uma bancada didática capaz de colmatar as principais lacunas identificadas, tanto nas soluções comerciais disponíveis, como nos sistemas de aprendizagem em automação adotados por outras instituições de ensino. Pretendeu-se, assim, conceber uma solução completa, funcional e simultaneamente mais económica.

Para evidenciar as diferenças entre as soluções analisadas nos subcapítulos 2.2 e 2.3 e a bancada didática desenvolvida no presente projeto, foram elaboradas duas tabelas comparativas que sintetizam as principais tecnologias presentes em cada solução. A Tabela 5 compara as tecnologias presentes nas soluções comerciais com a bancada didática criada,

Resultados

enquanto a Tabela 6 estabelece a comparação com os sistemas de aprendizagem adotados por outras instituições de ensino.

Tabela 5 - Comparação das tecnologias presentes nas soluções comerciais e na bancada didática desenvolvida

	Festo MPS 404-1	FAS-200 Edição Especial	Exsto XC133	Bancada didática
Acesso remoto				✓
Atuadores		✓		
Cibersegurança				
Cloud e Base de dados				
Controladores industriais		✓	✓	✓
Controladores industriais de segurança				✓
Detetores de códigos				✓
HMI	✓	✓	✓	✓
I/O distribuídos		✓		
IIOT	✓			✓
MES	✓			
Protocolos industriais	✓	✓		✓
Realidade aumentada	✓	✓		
Redes	✓		✓	✓
RFID	✓	✓		
Robô colaborativo		✓		
Servo drive				✓
Tecnologia IO Link	✓			✓
Variação de velocidade			✓	✓
Visão artificial		✓		✓

Tabela 6 - Comparação das tecnologias presentes nos sistemas de outras instituições de ensino e na bancada didática desenvolvida

	Célula eletropneumática robótica	IST	Casa Inteligente UM	ISEL	ISEP - DEE	Bancada didática
Acesso remoto	✓	✓	✓	✓		✓
Atuadores elétricos ou pneumáticos	✓					
Cibersegurança						
Cloud e Base de dados		✓				
Controladores industriais	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Controladores industriais de segurança						✓
Detetores de códigos						✓
HMI			✓	✓	✓	✓
I/O distribuídos						
IIOT						✓
MES						
Protocolos industriais						✓
Realidade aumentada						
Redes		✓	✓			✓
RFID						
Robô colaborativo	✓					
Servo drive						✓
Tecnologia IO Link	✓		✓	✓	✓	✓
Variação de velocidade	✓				✓	✓
Visão artificial						✓

Das tabelas conclui-se que, embora a bancada didática não responda a todas as lacunas identificadas nas soluções e sistemas analisados, consegue dar resposta à maioria delas.

Importa destacar que a bancada foi concebida de forma flexível, permitindo a integração futura de tecnologias ainda não implementadas, como, por exemplo, atuadores elétricos ou pneumáticos na zona B.

Além disso, robôs colaborativos, como o UR3 da *Universal Robotics*, podem vir a ser utilizados de forma integrada em futuras atividades.

Resultados

6. Discussão

Neste capítulo procede-se à discussão dos resultados do projeto. São abordados a análise crítica, as limitações identificadas no sistema e a opinião dos utilizadores, com o objetivo de avaliar o desempenho da solução implementada.

6.1. Análise crítica

A análise dos resultados evidencia que a maioria dos participantes se enquadra na faixa etária entre os 22 e os 39 anos, sendo que 70% possuíam experiência prévia 'Intermédia' em automação industrial.

No que diz respeito à organização da atividade, destaca-se a clareza dos objetivos e das explicações, assim como a suficiência dos materiais e instruções disponibilizados. Estes fatores permitem concluir que a atividade foi avaliada de forma bastante positiva.

No que respeita ao conteúdo técnico, constatou-se que os exercícios iniciais foram classificados como mais fáceis e acessíveis mesmo a iniciantes, enquanto os mais avançados, resolvidos por participantes com experiência prévia, revelaram um nível de dificuldade moderado. A utilização do Grafcet, da HMI e do PLC foi unanimemente considerada positiva, ao passo que *Sysmac Studio* não foi considerado fácil de utilizar por toda a população participante.

A análise da relação entre experiência e dificuldade percebida revelou que os participantes com conhecimentos prévios perceberam menor dificuldade. Ainda assim os exercícios mostraram-se acessíveis também para os iniciantes, embora estes os tenham considerado mais desafiantes.

Em termos de desenvolvimento pessoal, todos os participantes reconheceram a utilidade dos exercícios para a aprendizagem em automação industrial. Relataram, ainda, ganhos significativos em termos de confiança e perceção da sua capacidade para programar sistemas simples. Observou-se, contudo, que a evolução da confiança foi mais pronunciada entre os participantes sem experiência prévia, enquanto os mais experientes mantiveram níveis já elevados.

Relativamente à ergonomia e envolvimento pessoal, a bancada foi considerada ergonómica e confortável e a atividade foi avaliada como altamente interessante. Evidenciou-se, deste modo, uma forte predisposição dos participantes para participar noutras atividades semelhantes.

Pode-se, então, concluir que a bancada constitui uma ferramenta interessante e eficaz para o ensino e aprendizagem em automação industrial. Revela-se adequada para apoiar os utilizadores iniciantes na área, ao passo que se mostra motivadora e desafiadora para aqueles com experiência prévia.

A análise das tabelas - Tabela 5 e Tabela 6 – confirma que a bancada é capaz de suprir a maioria das lacunas identificadas nos sistemas de ensino de outras instituições e nas soluções comerciais. Destaca-se, assim, como significativamente mais completa em relação aos sistemas de ensino e consideravelmente mais acessível do que as soluções comerciais.

6.2. Limitações do sistema

Apesar dos resultados positivos obtidos com a implementação da bancada didática, é importante reconhecer algumas limitações identificadas durante o seu desenvolvimento, integração e validação prática. Estas limitações são relevantes para contextualizar o alcance do sistema e orientar futuras melhorias.

Em primeiro lugar, a modularidade física da bancada apresenta algumas restrições. Embora o projeto tenha sido concebido com uma estrutura flexível, baseada em perfis de alumínio e calhas DIN, a adição de novos módulos — como braços robóticos, câmaras de visão avançada ou dispositivos de realidade aumentada — pode requerer modificações significativas na estrutura base ou no sistema de alimentação elétrica.

Relativamente ao espaço disponível, a densidade de componentes na superfície da bancada, especialmente nas zonas de operação com múltiplos PLCs e sensores, pode dificultar o acesso individual a alguns elementos, sobretudo quando utilizada por grupos de estudantes em simultâneo. Esta limitação pode afetar a ergonomia e comprometer a eficiência da aprendizagem prática, particularmente em sessões laboratoriais com elevada ocupação.

Outra limitação importante está também associada às dimensões e ao peso da bancada. Embora estas permitam a instalação de diversos equipamentos, exigem um espaço amplo e impossibilitam a movimentação da estrutura, obrigando os utilizadores a deslocar-se até ao seu local fixo. Esta limitação pode ser atenuada através do acesso remoto; contudo, embora o Flexy 205 se encontre tecnicamente preparado para tal, não existe, até ao momento, um protocolo assinado que permita ao ISEP disponibilizar esse recurso. Dessa forma, a utilização remota da bancada continua indisponível, restringindo as atividades ao formato presencial.

Ao nível da expansibilidade do sistema, embora se tenham utilizado protocolos abertos e equipamentos compatíveis com standards industriais (como EtherCAT, Ethernet/IP, OPC-UA), a integração de tecnologias externas poderá exigir configuração adicional de *software*, drivers específicos ou recursos computacionais mais avançados. Isto poderá representar um entrave para instituições com menor experiência técnica ou com recursos limitados.

A escalabilidade também se apresentou como uma limitação, uma vez que apenas foi testada uma quantidade limitada de protocolos. Esta restrição reduz a abrangência do sistema, dificultando a validação de cenários mais diversificados que poderiam aproximar ainda mais o ambiente académico das necessidades industriais.

Outro fator a considerar é o custo da bancada. Embora as soluções comerciais apresentem, em geral, custos substancialmente elevados, o desenvolvimento de uma bancada pode representar um investimento significativo para a instituição. Ainda que esse valor seja justificado pela variedade de equipamentos incluídos, pode limitar a replicação da solução noutros contextos de ensino com recursos financeiros mais restritos. No presente caso, a restrição orçamental traduziu-se na não aquisição e conseqüente não integração de alguns dos equipamentos inicialmente previstos para o sistema.

A nível didático, identificou-se que utilizadores com pouca ou nenhuma experiência prévia em automação podem sentir alguma dificuldade inicial no manuseamento da bancada, nomeadamente na compreensão dos fluxos lógicos de controlo entre os módulos. Embora o manual de utilização e os exercícios desenvolvidos atenuem esta limitação, poderá ser necessário criar materiais pedagógicos adicionais, como vídeos tutoriais, simulações interativas ou sessões de online, para promover uma aprendizagem mais autónoma e progressiva.

Alguma dificuldade poderá ser sentida relativamente aos *softwares* a utilizar. Uma vez que é pretendido que cada zona contenha equipamentos de um único fabricante, os controladores e as HMIs devem ser programados com os *softwares* fornecidos pela respetiva marca. Conseqüentemente, os utilizadores necessitam de possuir conhecimentos prévios sobre estas ferramentas ou, caso contrário, devem aprender a utilizá-los, o que pode constituir um desafio adicional para iniciantes.

Por fim, importa referir que a validação do sistema baseou-se num número limitado de utilizadores, maioritariamente estudantes de engenharia. Apesar das respostas aos inquéritos indicarem uma perceção bastante positiva do sistema, os dados recolhidos não permitem ainda uma generalização estatística robusta. A repetição da avaliação com uma amostra mais alargada, incluindo docentes ou formadores externos, seria benéfica para aferir com maior rigor a eficácia do sistema em diferentes contextos de ensino.

6.3. Feedback dos utilizadores

Da análise das respostas abertas obteve-se o feedback dos utilizadores. Os aspetos mais valorizados foram o uso da HMI, destacando-se a utilidade da interface para a visualização do sistema e para a deteção de erros no programa, a possibilidade de observação prática do funcionamento na bancada, a aplicabilidade académica da atividade e a relativa facilidade com que é possível simular sistemas reais.

As dificuldades identificadas foram pontuais, sobretudo relacionadas com a adaptação ao *software* de programação em *Ladder*. Entre as sugestões de melhoria, destacaram-se a adição de equipamentos físicos, como tapetes rolantes e componentes de linhas de produção em pequena escala, bem como a reordenação dos exercícios.

De um modo geral, a atividade foi considerada bem desenvolvida e recebeu uma avaliação bastante positiva por parte dos participantes. Destacou-se o entusiasmo em interagir com a bancada e, no caso de alguns participantes, a oportunidade de observar o funcionamento real dos conceitos aprendidos ao longo da licenciatura e do mestrado. Foi salientado que os

Discussão

exercícios, além de desafiantes, estimulam o pensamento crítico e estão bem explicados, constituindo assim um excelente trabalho.

Foi igualmente referida a relevância desta atividade, pela sua componente prática, permitindo visualizar de forma clara os resultados da programação. A atividade revelou-se útil tanto para a revisão de conceitos por parte de utilizadores experientes, como para iniciantes na área de automação industrial, destacando-se o seu carácter intuitivo mesmo para os menos familiarizados com o tema. Adicionalmente, sublinhou-se que a atividade facilita a compreensão dos problemas e das respetivas formas de resolução, sendo recomendada como uma opção futura de apoio às aulas de automação industrial.

7. Conclusões e Trabalhos Futuros

Este capítulo apresenta as conclusões finais e sugere possíveis trabalhos futuros.

7.1. Conclusões finais

A automação tem como objetivo reduzir a intervenção humana na execução de tarefas, promover maior eficiência, minimizar erros e otimizar recursos. É aplicada em diversos setores, incluindo o setor industrial, comercial e doméstico e assume um papel essencial no contexto educativo, onde soluções didáticas de automação contribuem para a formação de profissionais capazes de responder às necessidades do mercado e da indústria.

Apesar da diversidade de bancadas comerciais, estas apresentam custos elevados, requerem manutenção especializada e assistência técnica morosa e nem sempre atendem aos programas letivos. Nesse sentido, a criação de uma bancada didática própria na instituição revela-se uma mais-valia. O presente trabalho teve como objetivo desenvolver uma solução que integrasse tecnologias atuais, adaptada às necessidades específicas do ensino em automação, garantindo um processo de aprendizagem de elevada qualidade a custos mais acessíveis.

Pode-se concluir que a bancada desenvolvida constitui uma ferramenta eficaz para o ensino e aprendizagem em automação industrial que apoia utilizadores iniciantes e se apresenta como motivadora e desafiadora para os utilizadores com experiência prévia na área. A análise dos resultados evidencia que a solução desenvolvida supre a maioria das lacunas identificadas noutros sistemas de ensino ou soluções comerciais, destacando-se como mais completa e mais acessível.

7.2. Trabalhos futuros

Considerando os resultados obtidos e as limitações identificadas, é possível definir perspetivas para trabalhos futuros. Embora a bancada didática desenvolvida já integre diversas tecnologias associadas à Indústria 4.0, existem várias possibilidades de evolução e expansão que poderão potenciar ainda mais a sua aplicação em contexto académico e industrial. Os trabalhos futuros podem ser organizados em diferentes eixos de desenvolvimento:

1. Integração com robótica colaborativa:

Uma das evoluções naturais da bancada será a integração com braços robóticos colaborativos (*cobots*), permitindo simular células industriais mais complexas. A inclusão de um *cobot*

possibilitará a execução de tarefas como *pick & place*, montagem automatizada ou inspeção visual, ampliando o espectro de competências práticas a desenvolver pelos utilizadores.

2. Integração e diversificação de equipamentos e sistemas:

A inclusão de novos equipamentos, como atuadores elétricos e pneumáticos, representa também uma oportunidade de expansão da bancada. Da mesma forma, a integração dos sistemas de segurança já instalados com os restantes equipamentos assegura um funcionamento conjunto seguro e eficiente. Para além disso, a integração de tecnologias de outro fabricante na zona C permitirá aos utilizadores trabalhar com diferentes marcas, promovendo maior flexibilidade e diversidade de aprendizagem.

3. Desenvolvimento de módulos com inteligência artificial e visão computacional:

A incorporação de câmaras industriais e módulos de visão artificial permitirá o desenvolvimento de algoritmos de inspeção de qualidade, deteção de defeitos, ou leitura de códigos OCR/1D/2D com recurso a redes neurais convolucionais (CNNs). Esta abordagem permitirá introduzir temas emergentes como aprendizagem automática (machine learning), reforçando a ligação entre a automação clássica e a inteligência artificial.

4. Criação de um modelo digital (*Digital Twin*) e ligação Simulink:

A construção de um *Digital Twin* da bancada no ambiente MATLAB/Simulink ou em plataformas como *Unity/Factory I/O* permitirá a simulação em tempo real de falhas, ajustes paramétricos e testes virtuais de programas de PLC. Esta funcionalidade contribuirá para uma formação mais segura, modular e flexível, com possibilidade de integração em contextos de *Model Predictive Control* (MPC) ou *Hardware-in-the-Loop* (HIL).

5. Expansão para ambientes Cloud e base de dados SQL/NoSQL:

Atualmente, a recolha de dados na bancada é local. Uma evolução importante será a ligação a serviços cloud (ex: AWS, Azure, ThingsBoard) e a bases de dados remotas (MySQL (*Structured Query Language*), MongoDB, InfluxDB), permitindo a gestão centralizada de métricas de produção, estados dos sensores e variáveis do sistema. Isso possibilitará estudos em *Big Data*, manutenção preditiva e visualização de KPIs em dashboards.

6. Acesso remoto e cibersegurança:

A programação do Flexy 205 para acesso remoto à bancada, assim que o protocolo necessário esteja disponível, permitirá a exploração de cenários de ensino à distância, aumentando a versatilidade e a acessibilidade do sistema. Paralelamente, a inclusão de cibersegurança ativa nos acessos remotos assegurará a proteção de dados e o controlo seguro do sistema.

7. Exploração e programação de equipamentos existentes:

Sugere-se a programação dos equipamentos e tecnologias que não puderam ser plenamente explorados devido a restrições de tempo - como o motor, o inversor e o servo drive – de modo a ampliar o leque de exercícios e cenários práticos disponíveis na bancada.

8. Elaboração de conteúdos pedagógicos multimédia e GUI interativa:

Para promover uma maior autonomia dos alunos, poderão ser criados vídeos tutoriais, exercícios interativos e simulações passo-a-passo integradas numa interface gráfica de utilizador (GUI). Este recurso será útil em ambientes híbridos ou de ensino à distância.

9. Validação alargada em diferentes cursos e contextos formativos:

Sugere-se ainda a realização de estudos comparativos entre diferentes perfis de utilizadores (estudantes de diferentes anos ou áreas, professores, técnicos de manutenção), de forma a avaliar a aplicabilidade da bancada em múltiplos contextos de ensino técnico, superior ou até em formação profissional certificada.

10. Publicação dos resultados em meios científicos e técnicos:

Os resultados obtidos, nomeadamente o design da bancada, a arquitetura do sistema, os inquéritos de validação e os exercícios desenvolvidos, têm potencial para serem apresentados em conferências nacionais e internacionais da área da Engenharia, Educação Tecnológica ou Indústria 4.0. A publicação em revistas científicas poderá contribuir para a disseminação da solução e o reconhecimento do trabalho desenvolvido.

Conclusões e Trabalhos Futuros

Referências

- [1] F. Pereira, R. Lopes, R. Sarmiento, and C. Felgueiras, "Didactic bench to support automation learning - Industry 4.0 education," in *15th International Conference of Technology, Learning and Teaching of Electronics, TAE 2022 - Proceedings*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2022. doi: 10.1109/TAE 54169.2022.9840744.
- [2] G. Botura Junior, L. Carlos Rosa Fatec Sorocaba Centro Paula Souza, M. Alexandre Marques, and M. Lemos, "Automação em Processos Produtivos Baseada em Instrumentação Virtual," 2010. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/272745136>
- [3] M. M. Pandini, J. M. Neto, A. D. Spacek, and O. H. Ando Junior, "Design of a Didactic Workbench of Industrial Automation Systems for Engineering Education," *IEEE Latin America Transactions*, vol. 15, no. 8, pp. 1384–1391, 2017, doi: 10.1109/TLA.2017.7994783.
- [4] L. B. Palma, R. A. Antunes, and P. Gil, "Industrial Automation Home-Lab (IAH-Lab) for Teaching/Learning During Covid-19 Pandemic," in *Lecture Notes in Electrical Engineering*, Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, 2022, pp. 130–141. doi: 10.1007/978-3-031-10047-5_12.
- [5] S. Mishra and W. Sealy, "Integrated Centralized Framework for Industrial Automation," in *IEEE International Conference on Electro Information Technology*, IEEE Computer Society, 2024, pp. 444–449. doi: 10.1109/eIT60633.2024.10609943.
- [6] E. A. Katonova, R. Petija, F. Jakab, P. Fecilak, and M. Michalko, "Integration of the programmability and automation concepts into the teaching of computer networks," in *ICETA 2021 - 19th IEEE International Conference on Emerging eLearning Technologies and Applications, Proceedings*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2021, pp. 175–180. doi: 10.1109/ICETA54173.2021.9726621.
- [7] J. L. Vazquez-Gonzalez, J. Barrios-Aviles, A. Rosado-Muñoz, and R. Alejos-Palomares, "An industrial automation course: Common infrastructure for physical, virtual and remote laboratories for PLC programming," *International Journal of Online Engineering*, vol. 14, no. 8, pp. 4–19, 2018, doi: 10.3991/ijoe.v14i08.8758.
- [8] M. Lusk, M. " Mike, and " Asoodeh, "The Programming of Automation and Control Equipment," in *Proceedings of the 2002 ASEE Gulf-Southwest Annual Conference*, The University of Louisiana at Lafayette, Ed., Louisiana, USA, 2002.
- [9] T. Alizadeh, A. Akhtarshenas, N. Karimi, H. Soleimani, and A. Alizadeh, "PLC Programming Instruction: A Review of Popular Software Platforms for Enhanced Learner Outcomes," Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), Sep. 2024, pp. 76–82. doi: 10.1109/icom61675.2024.10652410.
- [10] O. A. Matoso *et al.*, "Agent Programming for Industrial Applications: Some Advantages and Drawbacks," *Anais do XIV Workshop-Escola de Sistemas de Agentes, seus ambientes e Aplicações*, pp. 104–115, 2020, doi: 10.5753/wesaac.2020.33384.

Referências

- [11] V. Alvear-Puertas, H. Farinango, I. Navarrete, and P. Rosero, "Internet de las Cosas y Visión Artificial, Funcionamiento y Aplicaciones: Revisión de Literatura." [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/313280598>
- [12] Y. Wu and Y. Lu, "An intelligent machine vision system for detecting surface defects on packing boxes based on support vector machine," *Measurement and Control (United Kingdom)*, vol. 52, no. 7–8, pp. 1102–1110, Sep. 2019, doi: 10.1177/0020294019858175.
- [13] A. A. Santos *et al.*, "Integration of Artificial Vision and Image Processing into a Pick and Place Collaborative Robotic System," *Journal of Intelligent and Robotic Systems: Theory and Applications*, vol. 110, no. 4, Dec. 2024, doi: 10.1007/s10846-024-02195-z.
- [14] K. Kushavaha, "OCR: Optical Character Recognition," *Int J Res Appl Sci Eng Technol*, vol. 12, no. 4, pp. 3854–3856, Apr. 2024, doi: 10.22214/ijraset.2024.60794.
- [15] A. Mishra, M. Tech Scholar, and M. Mathuria, "A Review on QR Code," *Int J Comput Appl*, vol. 164, no. 9, pp. 17–19, Apr. 2017, doi: 10.5120/ijca2017913739.
- [16] H. J. Gonzaga and T. C. Pimenta, "Mixed Design of Integrated Circuits and Systems-MIXDES 2023 Study and Application of the *IO Link* Industrial Network in the Context of Industry 4.0," in *2023 30th International Conference on Mixed Design of Integrated Circuits and System (MIXDES)*, Kraków, Poland, 2023, pp. 264–269. doi: 10.23919/MIXDES58562.2023.10203244.
- [17] P. Chand, S. James, J. Antony, and J. Jose, "Developing Remote Access and Control of Automation Equipment," in *2021 7th International Conference on Control, Automation and Robotics, ICCAR 2021*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Apr. 2021, pp. 31–35. doi: 10.1109/ICCAR52225.2021.9463445.
- [18] N. Yusupbekov, F. Adilov, M. Astafurov, and A. Ivanyan, "Remote Access and Management of Plants Experience During Pandemics Time Across the World," in *Lecture Notes in Networks and Systems*, Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, 2022, pp. 308–316. doi: 10.1007/978-3-031-09176-6_36.
- [19] T. Hegazy and M. Hefeeda, "Industrial Automation as a Cloud Service," *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, vol. 26, no. 10, pp. 2750–2763, Oct. 2015, doi: 10.1109/TPDS.2014.2359894.
- [20] P. Ferrari *et al.*, "Evaluation of the impact of Cloud Database services on Industrial IoT Applications," in *2020 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC)*, Dubrovnik, Croatia, 2020, pp. 1–6. doi: 10.1109/I2MTC43012.2020.9129080.
- [21] F. Han, N. Cui, Y. Hu, Q. Fu, and D. Yu, "Design and Application of Cloud Platform Based on OpenStack in Remote Online Collection and Monitoring System of Intelligent Workshop," in *2019 IEEE International Conference on Signal Processing, Communications and Computing (ICSPCC)*, Dalian, China, 2019, pp. 1–5. doi: 10.1109/ICSPCC46631.2019.8960725.
- [22] B. Leander, A. Causevic, and H. Hansson, "Cybersecurity Challenges in Large Industrial IoT Systems," in *2019 24th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA) : Paraninfo Building*, IEEE, 2019, pp. 1035–1042.
- [23] M. Nankya, R. Chataut, and R. Akl, "Securing Industrial Control Systems: Components, Cyber Threats, and Machine Learning-Driven Defense Strategies," 2023. doi: 10.3390/s23218840.
- [24] Y. Liu, Z. Yan, J. Ju, and Z. Zhu, "Experiment system design of visual servo motion control for industrial robot," in *2024 5th International Conference on Computer Engineering and Application, ICCEA 2024*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2024, pp. 1603–1606. doi: 10.1109/ICCEA62105.2024.10604008.

- [25] A. Islam, M. Sharmin, and N. Sakib, "A Study on Multiple Barcode Detection from an Image in Business System," *Int J Comput Appl*, vol. 181, no. 37, pp. 30–37, Jan. 2019, doi: 10.5120/ijca2019918340.
- [26] P. Buczkowski, P. Malacaria, C. Hankin, and A. Fielder, "Optimal Security Hardening over a Probabilistic Attack Graph," in *SaT-CPS 2022 - Proceedings of the 2022 ACM Workshop on Secure and Trustworthy Cyber-Physical Systems*, Association for Computing Machinery, Inc, Apr. 2022, pp. 21–30. doi: 10.1145/3510547.3517919.
- [27] J. Chinnasamy, K. S. Ramesh Babu, M. Chenniappan, and P. Rathinasamy, "A workbench for motion control experiments using programmable automation controllers in industrial automation laboratory at Kongu Engineering College," *Computer Applications in Engineering Education*, vol. 26, no. 3, pp. 566–576, May 2018, doi: 10.1002/cae.21908.
- [28] M. Silva, F. Pereira, F. Soares, C. P. Leão, J. Machado, and V. Carvalho, "PAIR: THE REMOTE INDUSTRIAL AUTOMATION TRAINER," in *ASME 2014 International Mechanical Engineering Congress & Exposition*, Montreal, Canada: IMECE, 2014, pp. 1–7. doi: 10.1115/IMECE2014-38771.
- [29] F. Martell-Chavez, J. M. Lopez-Tellez, C. A. Paredes-Orta, and R. Espinosa-Luna, "Virtual laboratories for teaching automation, robotics, and optomechatronics," in *EDUNINE 2023 - 7th IEEE World Engineering Education Conference: Reimagining Engineering - Toward the Next Generation of Engineering Education, Merging Technologies in a Connected World, Proceedings*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2023. doi: 10.1109/EDUNINE57531.2023.10102906.
- [30] J. L. Vazquez-Gonzalez, J. Barrios-Aviles, A. Rosado-Muñoz, and R. Alejos-Palomares, "An industrial automation course: Common infrastructure for physical, virtual and remote laboratories for PLC programming," *International Journal of Online Engineering*, vol. 14, no. 8, pp. 4–19, 2018, doi: 10.3991/ijoe.v14i08.8758.
- [31] J. L. Vazquez-Gonzalez, J. Barrios-Aviles, A. Rosado-Muñoz, and R. Alejos-Palomares, "An industrial automation course: Common infrastructure for physical, virtual and remote laboratories for PLC programming," *International Journal of Online Engineering*, vol. 14, no. 8, pp. 4–19, 2018, doi: 10.3991/ijoe.v14i08.8758.
- [32] B. Gergič and D. Hercog, "An Effective Concept for Teaching LabVIEW Programming to Engineering Students," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 14, no. 18, Sep. 2024, doi: 10.3390/app14188506.
- [33] M. Paprocki and K. Erwiński, "Synchronization of Electrical Drives via EtherCAT Fieldbus Communication Modules," *Energies (Basel)*, vol. 15, no. 2, Jan. 2022, doi: 10.3390/en15020604.
- [34] Y. Koyasako, T. Suzuki, T. Hatano, T. Shimada, and T. Yoshida, "Demonstration of Industrial Ethernet Protocol Softwarization and Advanced Motion Control for Full Software-Defined Factory Network," *IEEE Access*, vol. 12, pp. 104020–104030, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3434522.
- [35] M. Yang and G. Li, "Analysis of PROFINET IO communication protocol," in *Proceedings - 2014 4th International Conference on Instrumentation and Measurement, Computer, Communication and Control, IMCCC 2014*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Dec. 2014, pp. 945–949. doi: 10.1109/IMCCC.2014.199.
- [36] S. Elamanov, H. Son, B. Flynn, S. K. Yoo, N. Dilshad, and J. S. Song, "Interworking between Modbus and internet of things platform for industrial services," *Digital Communications and Networks*, vol. 10, no. 2, pp. 461–471, Apr. 2024, doi: 10.1016/j.dcan.2022.09.013.

Referências

- [37] C. Pu, X. Ding, P. Wang, S. Xie, and J. Chen, "Semantic Interconnection Scheme for Industrial Wireless Sensor Networks and Industrial Internet with OPC UA Pub/Sub," *Sensors (Basel)*, vol. 22, no. 20, Oct. 2022, doi: 10.3390/s22207762.
- [38] Festo Inc., "Festo," Empresa. Accessed: Nov. 06, 2024. [Online]. Available: https://www.festo.com/pt/pt/e/sobre-a-festo/empresa-id_3688/
- [39] Festo Inc., "Sobre a Festo," Sobre a Festo. Accessed: Nov. 06, 2024. [Online]. Available: https://www.festo.com/pt/pt/e/sobre-a-festo-id_3847/
- [40] Festo Inc., "Festo áreas de negócio," As nossas área de negócio. Accessed: Nov. 06, 2024. [Online]. Available: https://www.festo.com/pt/pt/e/sobre-a-festo/empresa/areas-de-negocios-id_3703/
- [41] Festo Inc., "Festo catálogos," Os nossos catálogos de produtos. Accessed: Nov. 06, 2024. [Online]. Available: https://www.festo.com/pt/pt/e/formacao-tecnica/os-nossos-catalogos-de-produtos-id_1654001/
- [42] Festo Inc., "MPS 400," Fábrica de aprendizagem Distribuição Pro, União, Medição Pro e Triagem em linha MPS 404-1. Accessed: Nov. 06, 2024. [Online]. Available: https://www.festo.com/pt/pt/p/fabrica-de-aprendizagem-distribuicao-pro-uniao-medicao-pro-e-triagem-em-linha-id_PROD_DID_8150260/?page=0
- [43] SMC Corporation, "SMC - Leading experts with a passion for industrial automation." Accessed: Nov. 26, 2024. [Online]. Available: <https://www.smc.eu/pt-pt/companhia>
- [44] SMC Corporation, "The milestones that made us grow into market leaders." Accessed: Nov. 26, 2024. [Online]. Available: <https://www.smc.eu/pt-pt/companhia/historia-da-smc>
- [45] SMC Corporation, "Training Equipment." Accessed: Nov. 26, 2024. [Online]. Available: <https://www.smcworld.com/products/training/en-vn/index.html>
- [46] SMC Training, "FAS-200 Special Edition - INDUSTRY 4.0." Accessed: Nov. 26, 2024. [Online]. Available: <https://www.smctraining.com/en/webpage/indexpage/1350>
- [47] SMC Corporation, "FAS-200 Special Edition Industry 4.0 - Photo Gallery." Accessed: Nov. 26, 2024. [Online]. Available: <https://www.smctraining.com/en/webpage/indexpage/1357>
- [48] EXSTO Tecnologia, "XC133 - BANCO DE ENSAIOS PARA CLP ROCKWELL (MICRO-850)," *Exsto Tecnologia*. [Online]. Available: <https://exsto.com.br/Catalogos/XC133PD00.PT.pdf>
- [49] Exsto Tecnologia, "Software de simulação e ambientes virtuais," *Brasil*. [Online]. Available: [https://exsto.com.br/Catalogos/Automation_Studio_\(Automacao\).pdf](https://exsto.com.br/Catalogos/Automation_Studio_(Automacao).pdf)
- [50] Z. Nedic, J. Machotka, and A. Nafalski, "Remote laboratories versus virtual and real laboratories," in *Proceedings - Frontiers in Education Conference, FIE*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2003, p. T3E1-T3E6. doi: 10.1109/FIE.2003.1263343.
- [51] F. Soares, C. P. Leão, V. Carvalho, R. M. Vasconcelos, and S. Costa, "Automation and control remote laboratory: A pedagogical tool," *International Journal of Electrical Engineering and Education*, vol. 51, no. 1, pp. 54–67, Jan. 2014, doi: 10.7227/IJEEE.51.1.5.
- [52] Universidad de León, "Purpose." Accessed: Oct. 30, 2024. [Online]. Available: <https://ira.unileon.es/purpose/>
- [53] Universidad de León, "ROBOTIC ELECTROPNEUMATIC CELL." Accessed: Oct. 30, 2024. [Online]. Available: <https://ira.unileon.es/physical-systems/robotic-electropneumatic-cell/>
- [54] M. Ribeiro, "Interface and Web Server Implementation for an Industrial Automation Remote Laboratory."

- [55] F. Soares, C. P. Leão, C. A. R&d, J. Machado, and V. Carvalho, *Automation and Control in Engineering A Global Approach with Educational Kits*.
- [56] A. J. L. Cordeiro, M. C. L. Almeida, and M. G. V. B. Almeida, "DEVELOPMENT OF A DIDACTIC SIMULATOR FOR WATER TREATMENT SYSTEMS," *International Journal of Research -GRANTHAALAYAH*, vol. 10, no. 7, pp. 36–50, Jul. 2022, doi: 10.29121/granthaalayah.v10.i7.2022.4685.
- [57] M. Pinto, I. Azevedo, P. J. Silva, A. M. Lopes, A. R. Silva, and A. A. Santos, "Collaborative Robotics Learning Kits: A Literature Review," *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, pp. 246–257, 2025, doi: 10.1007/978-3-031-93554-1_22.
- [58] I. Azevedo, M. Pinto, A. F. Silva, and C. Felgueiras, "Teaching Automation: A Review of Industrial Automation Learning Systems," *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, pp. 457–469, 2025, doi: 10.1007/978-3-031-94223-5_39.
- [59] rexroth A Bosch Company, "Perfil 45x45." Accessed: May 21, 2025. [Online]. Available: <https://store.boschrexroth.com/en/us/p/strut-profile-3842553614>
- [60] rexroth A Bosch Company, "SCREW S12X30-T50." Accessed: May 21, 2025. [Online]. Available: <https://store.boschrexroth.com/en/hu/p/screw-3842530236>
- [61] ipc comercial, "Parafuso cabeça de martelo M8x25." Accessed: May 21, 2025. [Online]. Available: <https://www.ipccomercial.com.br/perfil-de-aluminio/fixacao/kit-parafuso-cabeca-martelo-m8-x-25-mm-canal-de-8-mm-p>
- [62] Weidmuller, "Trilhos DIN e trilhos de montagem." Accessed: May 21, 2025. [Online]. Available: https://www.weidmuller.pt/pt/produtos/local_de_trabalho_e_acessorios/infraestrutu-ra_do_painel/calhas_din_e_calhas_de_montagem.jsp
- [63] Weidmuller, "Calha DIN." Accessed: May 21, 2025. [Online]. Available: <https://eshop.weidmueller.com/en/ts-35x7-5l16x18-2mo/p/1071690000>
- [64] HellermannTyton, "Calha de PVC rígido para cabos." Accessed: May 21, 2025. [Online]. Available: <https://www.hellermanntyton.com/pt/produtos/calha-ranhurada-e-acessorios/htwd-pd-25x50/185-42550>
- [65] Omron, "Sysmac Studio." Accessed: May 27, 2025. [Online]. Available: <https://industrial.omron.pt/pt/products/sysmac-studio#>
- [66] Omron, "Série NB." Accessed: May 27, 2025. [Online]. Available: <https://industrial.omron.pt/pt/products/nb>

Referências

Declaração de Integridade

Declaro ter conduzido este trabalho académico com integridade. Não plagiei ou apliquei qualquer forma de uso indevido de informações ou falsificação de resultados ao longo do processo que levou à sua elaboração.

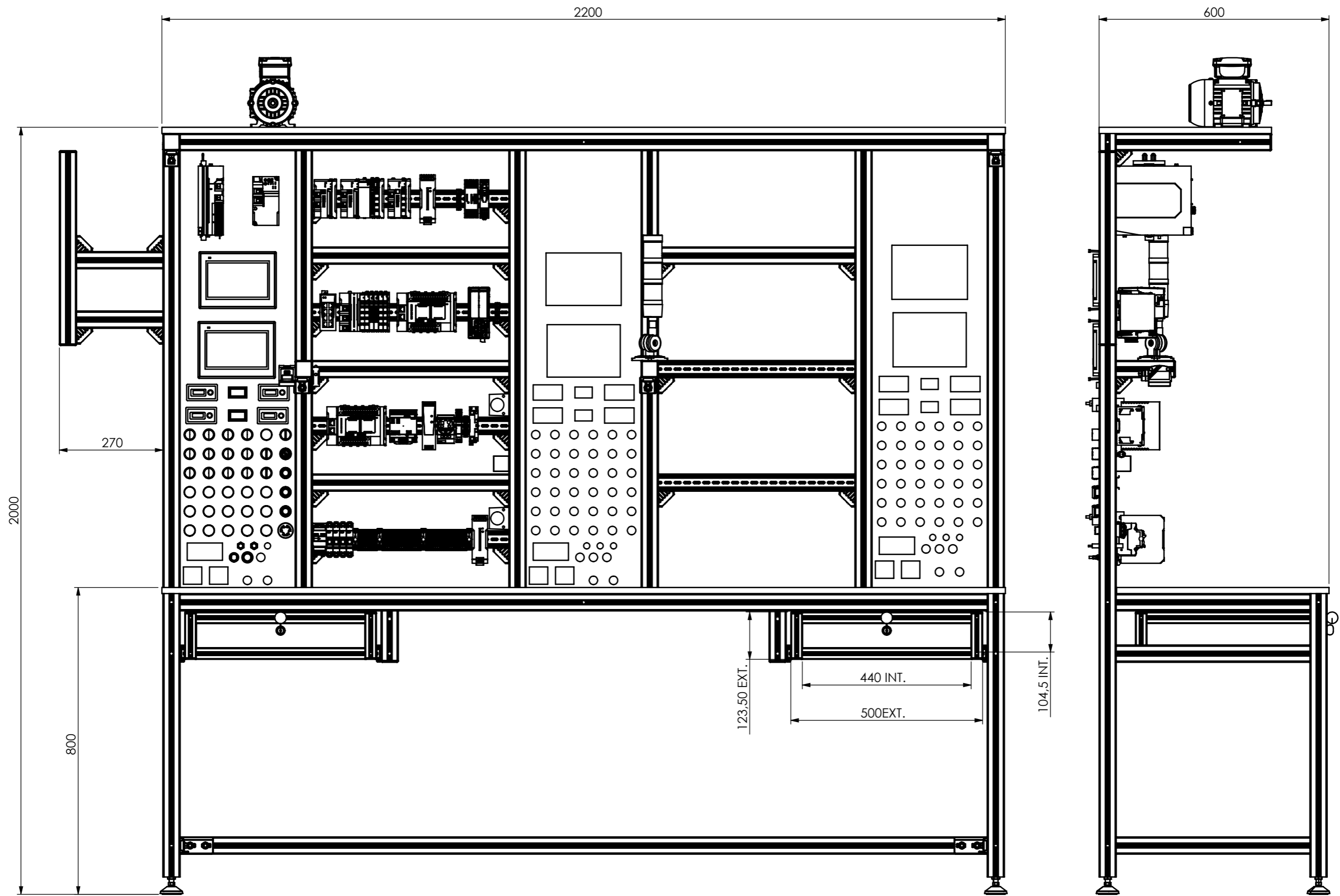
Declaro que o trabalho apresentado neste documento é original e de minha autoria, não tendo sido utilizado anteriormente para nenhum outro fim.

Declaro ainda que tenho pleno conhecimento do Código de Conduta Ética do P.PORTO.

NOME: Inês Silva Azevedo

ISEP, Porto, 14 de setembro de 2025

Apêndice A



ESCALA
1:10

Pessoa responsável Inês Azevedo	Departamento responsável www.dem.isep.ipp.pt	Tipo de documento Desenho de conjunto	Estado do documento Publicado	
Proprietário legal DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DO PORTO Rua Dr. António Bernardino de Almeida, 431 4200-072 Porto		Título Bancada didática	Número Desenho 2122.1201557.nnn	
Revisão A	Data de edição	Lingua PT	Folha 1/1	

Apêndice B



Instituto Superior de Engenharia do Porto

R. Dr. António Bernardino de Almeida
4249-015 Porto
Tel. 22 834 0500

ISEP INSTITUTO SUPERIOR
DE ENGENHARIA DO PORTO

Empresa / Cliente

Descrição do projeto

Esquema elétrico - bancada didática

Número de projeto

IEC_bas001

Comissão

ISEP

Fabricante (Empresa)

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Coluna

Nome do projeto

Esquema elétrico bancada

Realizar

Tipo

Localização de instalação

Responsável pelo projeto

Características da peça

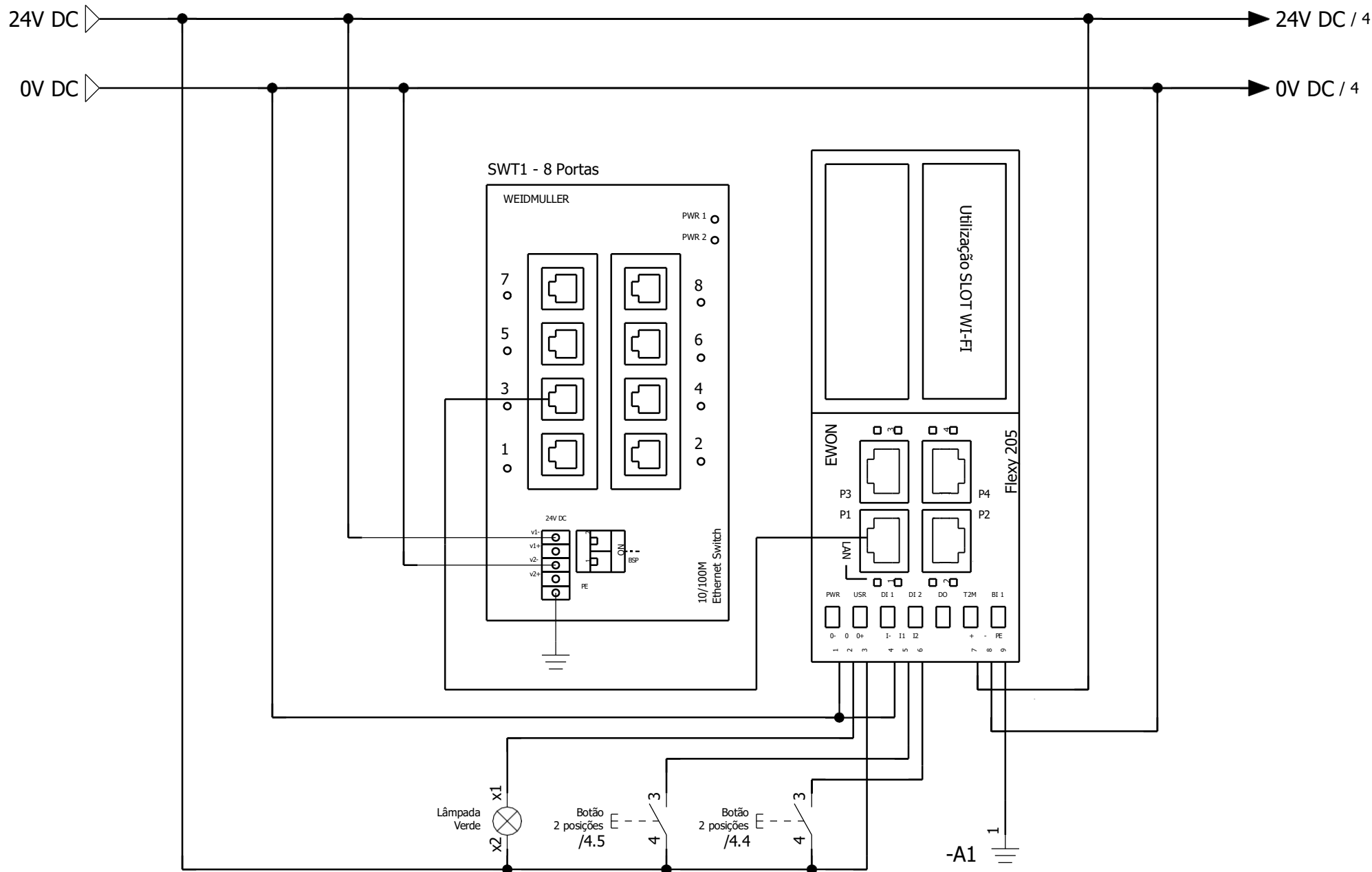
Criado em 12/03/2025

Editado em 10/09/2025

de (abreviatura) Inês Azevedo

Quantidade de páginas 11

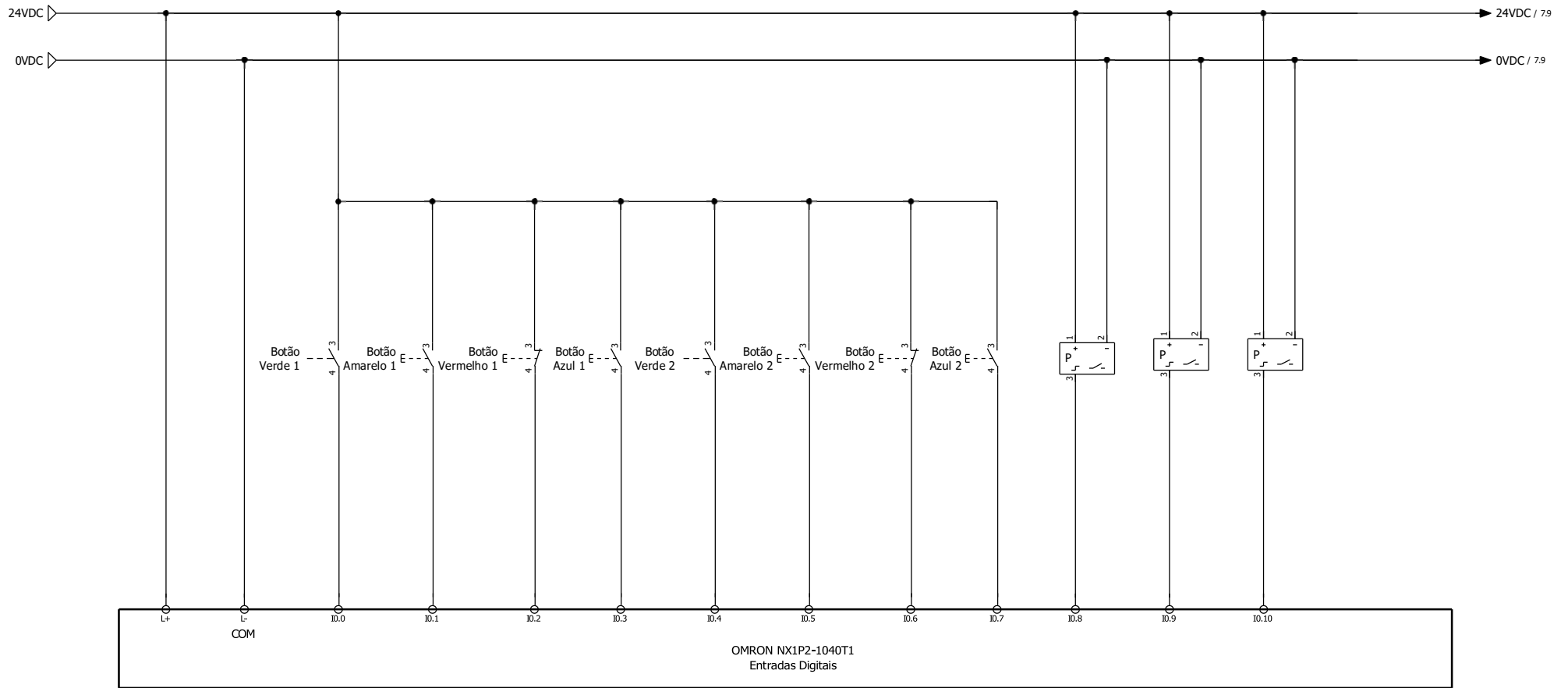
			Data	10/09/2025	ISEP	Instituto Superior de Engenharia do Porto	Página de título	= CA1	
			Editor	Inês A.				+ EAA	
			Verif.		Esquema elétrico - bancada didática				Folha 1
Alteração	Data	Nome	Orig.		Em substituição de	Substituído por		IEC_bas001	Página 1 / 11



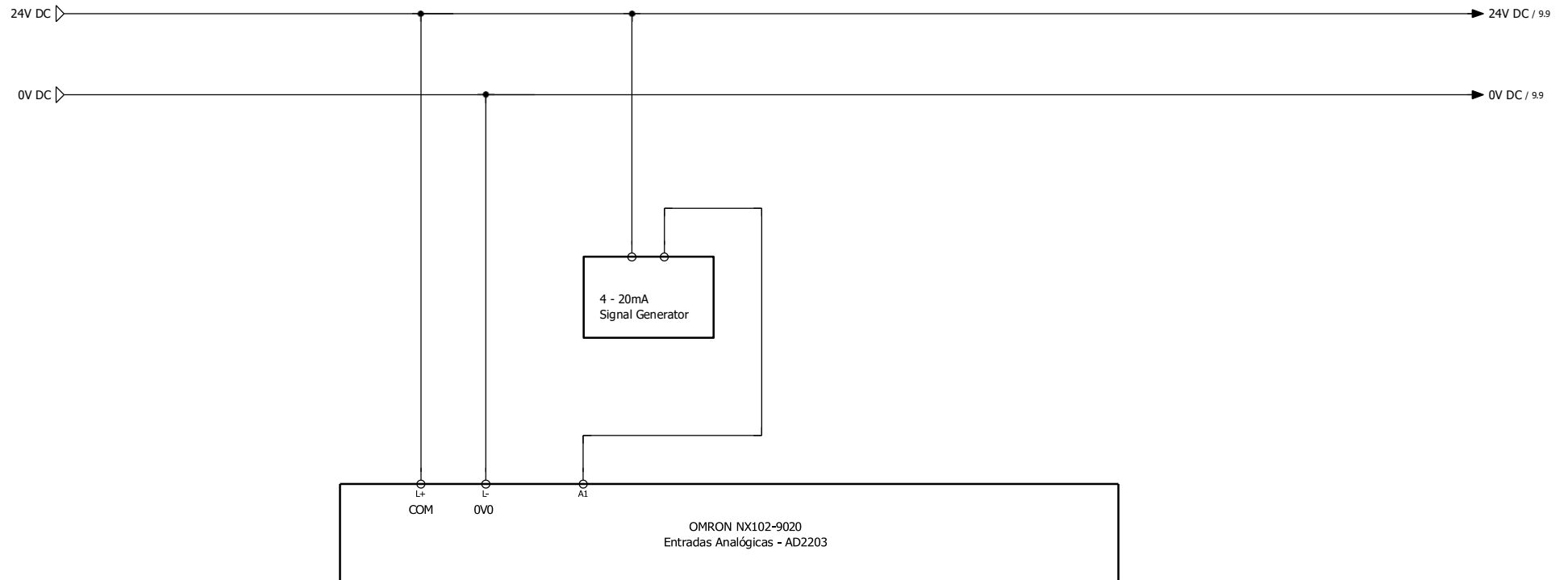
3.1

5

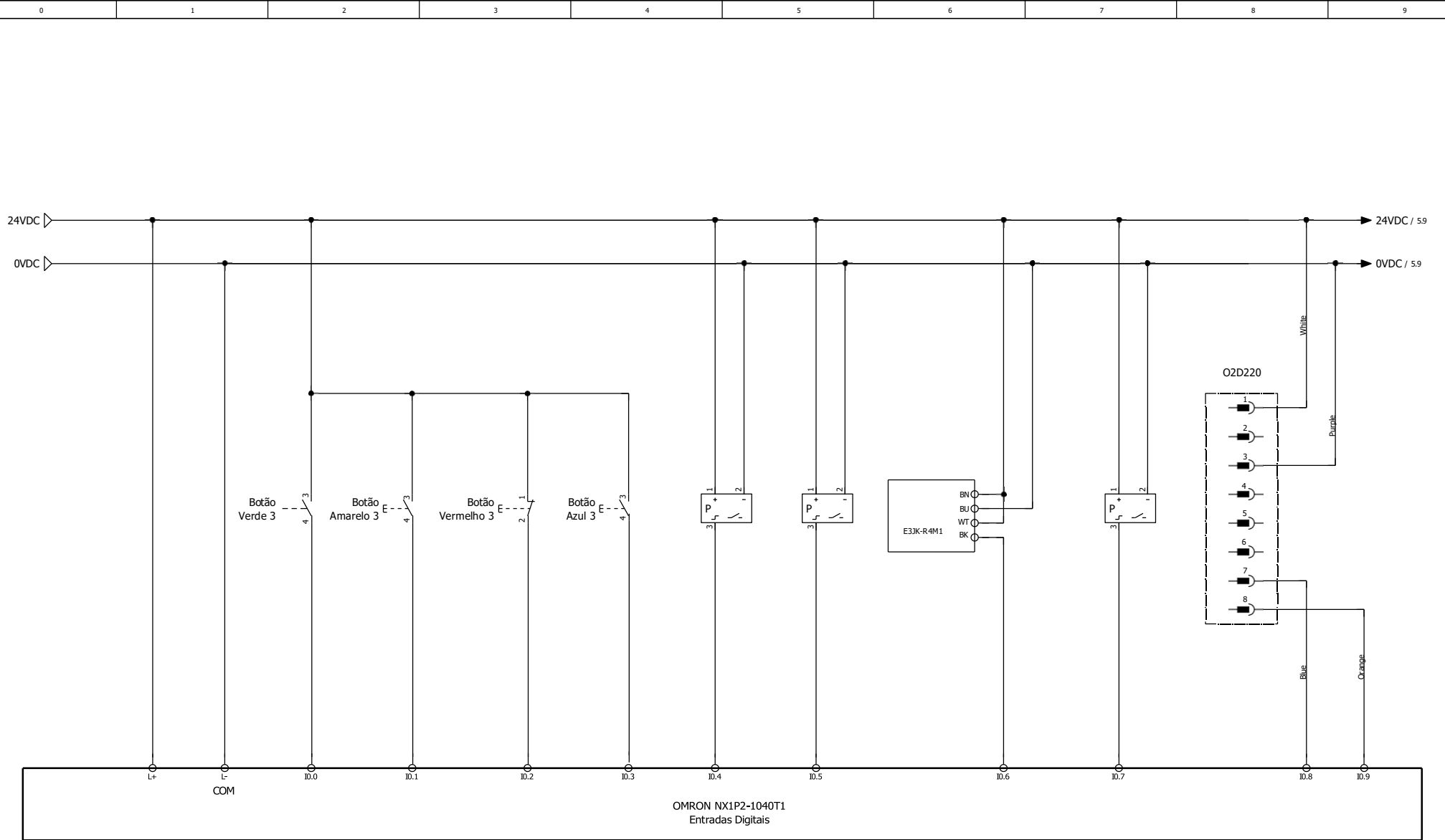
			Data	10/09/2025	ISEP	Instituto Superior de Engenharia do Porto	Router acesso remoto Flexy 205	= CA1	
			Editor	Inês A.	Esquema elétrico - bancada didática			+ EAA	
			Verif.						Folha 4
Alteração	Data	Nome	Orig.		Em substituição de	Substituído por		IEC_bas001	Página 5 / 11



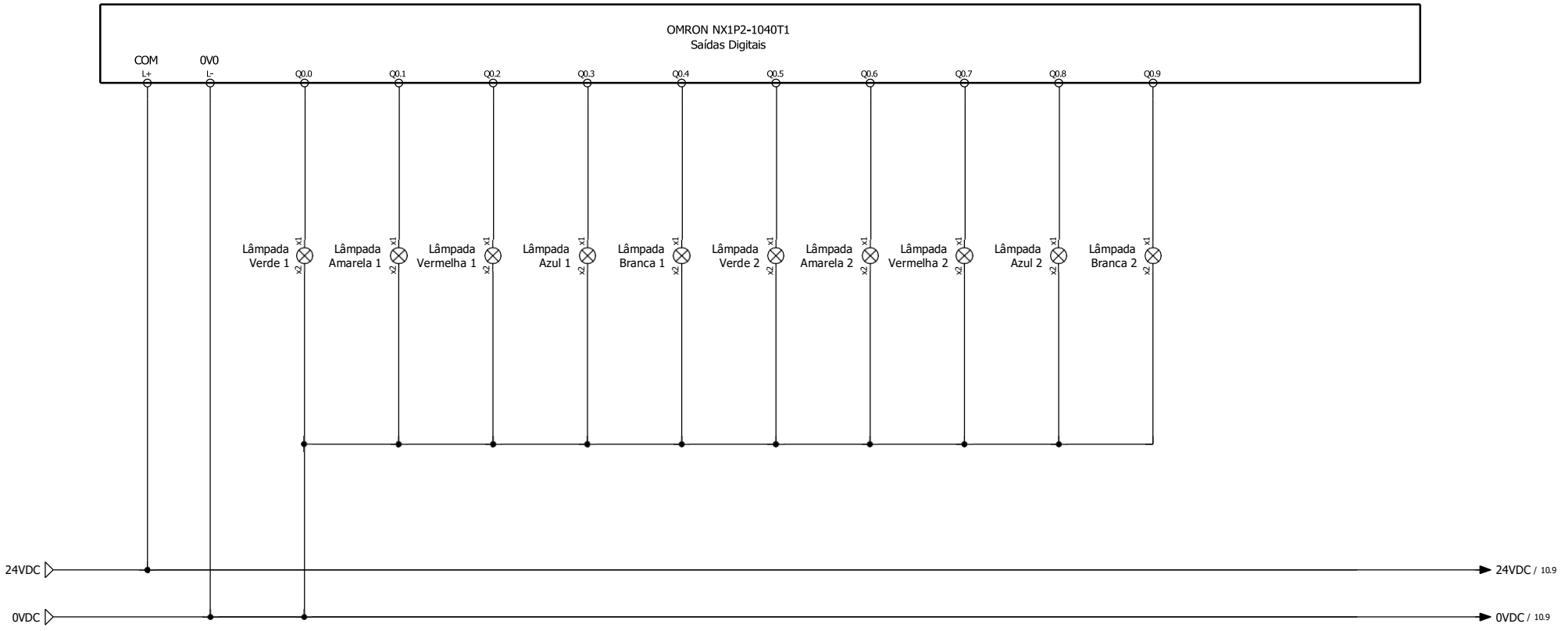
			Data	10/09/2025	ISEP	Instituto Superior de Engenharia do Porto	Entradas Digitais PLC 1	= CA1	
			Editor	Inês A.				+ EAA	
			Verif.		Esquema elétrico - bancada didática				Folha 5
Alteração	Data	Nome	Orig.		Em substituição de	Substituído por		IEC_bas001	Página 6 / 11



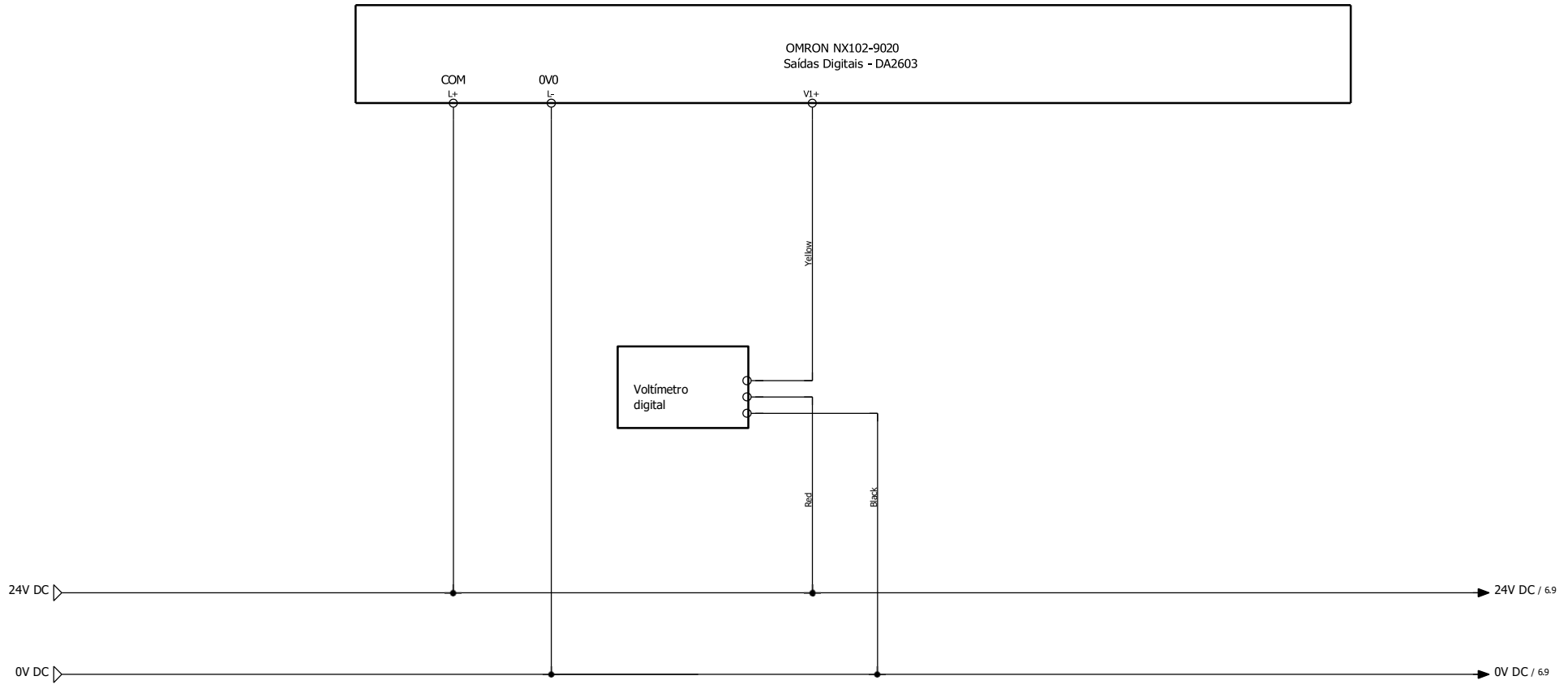
			Data	10/09/2025	ISEP	Instituto Superior de Engenharia do Porto	Entradas Analógicas PLC 2	IEC_bas001	= CA1	
			Editor	Inês A.					Esquema elétrico - bancada didática	+ EAA
			Verif.							
Alteração	Data	Nome	Orig.		Em substituição de	Substituído por			Folha 6 Página 7 / 11	

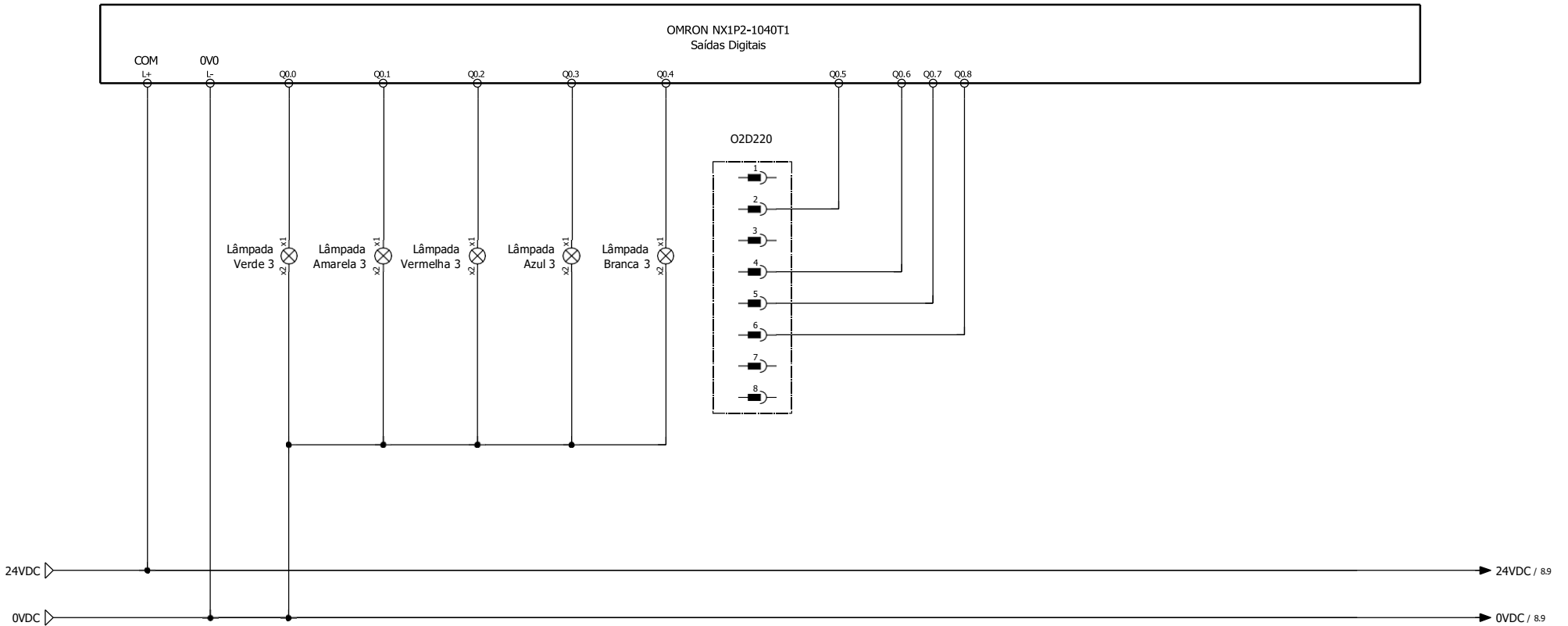


			Data	10/09/2025	ISEP	Instituto Superior de Engenharia do Porto	Entradas Digitais PLC 3	= CA1		
			Editor	Inês A.	Esquema elétrico - bancada didática			+ EAA		
			Verif.							
Alteração	Data	Nome	Orig.		Em substituição de	Substituído por		IEC_bas001	Página	8 / 11



			Data	10/09/2025	ISEP	Instituto Superior de Engenharia do Porto	Saídas Digitais PLC 1	IEC_bas001	= CA1	
			Editor	Inês A.					Esquema elétrico - bancada didática	+ EAA
			Verif.						Em substituição de	Substituído por
Alteração	Data	Nome	Orig.						Página 9 / 11	





			Data	10/09/2025	ISEP	Instituto Superior de Engenharia	Saídas Digitais PLC 3	= CA1
			Editor	Inês A.				+ EAA
			Verif.		Esquema elétrico - bancada didática			Folha 10
Alteração	Data	Nome	Orig.		Em substituição de	Substituído por		Página 11 / 11

Apêndice C

**Departamento de Engenharia Mecânica
Ano letivo de 2024/2025**

Laboratório de Automação

**Guião de trabalho
Implementação de exercícios para a
Bancada Indústria 4.0**

Elaborado por: Inês Silva Azevedo (1201557)

Porto, julho 2025

Índice

Lista de Figuras.....	4
Lista de Tabelas.....	8
1. Exercícios.....	9
1.1. GRAFCET.....	9
1.2. Ladder.....	12
1.3. Sysmac Studio.....	13
1.3.1. Criação de um projeto.....	13
1.3.2. Variáveis globais e variáveis locais.....	18
1.3.2.1. Variáveis associadas à HMI.....	20
1.3.3. Programação em Ladder.....	21
1.3.4. Simulação dos exercícios.....	24
1.3.5. Projetos modelo.....	26
1.4. NB-Designer.....	27
1.4.1. Criação de um projeto.....	27
1.4.2. Comunicação entre os dispositivos.....	30
1.4.3. Programação da HMI.....	31
1.4.3.1. Componentes.....	35
1.4.4. Download do programa.....	40
1.5. Exercício resolvido.....	44
1.5.1. Grafcet.....	44
1.5.2. Ladder.....	45
1.5.2.1. Simulação na bancada.....	48
1.5.3. HMI.....	50
1.5.3.1. Ecrã inicial.....	51
1.5.3.2. Ecrã de exercícios.....	52
1.5.3.3. Exercício exemplo.....	53
1.6. Exercício 1 – “Controlo de tráfego” (PLC1).....	57
1.7. Exercício 2 – “Acionamento e paragem de um motor” (PLC3).....	58
1.8. Exercício 3 - “Detetor de metais” (PLC3).....	59
1.9. Exercício 4 – “Parque de estacionamento” (PLC1).....	59
1.9.1. Exercício 4.1 - “Controlo de entradas e saídas” (PLC1).....	59
1.9.2. Exercício 4.2 – “Controlo de vagas de estacionamento” (PLC1).....	61
1.10. Exercício 5 – “Sistema de fecho de um portão” (PLC3).....	61
1.10.1. Alternativa 1 (PLC3).....	62
1.10.2. Alternativa 2 (PLC3).....	63
1.11. Exercício 6 – “Controlo de nível num reservatório” (PLC2).....	63

2. Resolução dos exercícios	65
2.1. Exercício 1 – “Controlo de tráfego”	65
2.2. Exercício 2 – “Acionamento e paragem de um motor”	68
2.3. Exercício 3 – “Detetor de metais”	71
2.4. Exercício 4.1 – “Controlo de entradas e saídas”	73
2.5. Exercício 4.2 – “Controlo de vagas de estacionamento”	80
2.6. Exercício 5 – Alternativa 1.....	82
2.7. Exercício 5 – Alternativa 2.....	85
2.8. Exercício 6 - “Controlo de nível num reservatório”	89
Referências.....	96

Lista de Figuras

Figura 1 – Identificação das partes de um GRAFCET	10
Figura 2 – Demonstração de diferentes formas de representação das Ações	11
Figura 3 – Estruturas do GRAFCET: (a) sequência única; (b) sequências opcionais; (c) sequências simultâneas; (d) saltos de etapas; (e) repetição de etapas	12
Figura 4 – Identificação das partes de um diagrama Ladder [1].....	13
Figura 5 – Curto-circuito na ramificação [1]	13
Figura 6 – Criação de um novo projeto.....	14
Figura 7 – Definição das propriedades do projeto.....	14
Figura 8 – Seleção do dispositivo	15
Figura 9 – Categorias e dispositivos disponíveis	15
Figura 10 – Botão “Create”	15
Figura 11 – Projeto exemplo para programação de PLC NX1P2-1040DT1	16
Figura 12 – Abrir lista de projetos.....	16
Figura 13 – Escolha do projeto.....	17
Figura 14 – Botão “Open”	17
Figura 15 – Outras ações.....	17
Figura 16 – Página inicial de um projeto.....	18
Figura 17 – Registo das variáveis globais	18
Figura 18 – Adição manual de cartas de expansão	19
Figura 19 – Variáveis globais do projeto	19
Figura 20 – Gestão das variáveis locais do programa	20
Figura 21 - Inserir variável local	20
Figura 22 – <i>Memory Settings</i>	21
Figura 23 - Ativação de áreas de memória	21
Figura 24 - Variáveis guardadas em áreas de memória	21
Figura 25 – Lista de programas do projeto	22
Figura 26 – Criação de novas secções.....	22
Figura 27 – Criação de novos programas	22
Figura 28 – Inserção dos elementos de programação	23
Figura 29 – Escolher uma ação sobre um output	23
Figura 30 - Caixa de ferramentas	24
Figura 31 – Verificar o programa	24
Figura 32 - Secção de exibição de erros e avisos	25
Figura 33 – “Rebuild Controller”	25
Figura 34 – Correr o programa.....	25
Figura 35 – Modo de simulação	26
Figura 36 – Ativação do output1	26
Figura 37 -Área "Simulation"	26
Figura 38 – Importar um projeto	27
Figura 39 - Lista de projetos.....	27

Figura 40 - Área de trabalho do <i>NB-Designer</i>	28
Figura 41 - Criar um projeto no <i>NB-Designer</i>	28
Figura 42 – Adicionar a HMI.....	29
Figura 43 - Adicionar o(s) PLC(s)	29
Figura 44 – Definir tipo de comunicação entre a HMI e o(s) PLC(s)	30
Figura 45 - Definição do dispositivo de rede.....	31
Figura 46 – Configuração de cada dispositivo.....	31
Figura 47 - Abrir janela de edição de HMI	32
Figura 48 – Área de trabalho – edição de HMI	32
Figura 49 – Início da programação da HMI	33
Figura 50 - Molduras predefinidas pelo <i>NB-Designer</i>	33
Figura 51 - Adicionar moldura.....	34
Figura 52 - Nova Moldura – Posição e nome	34
Figura 53 - Nova moldura.....	34
Figura 54 - Etiqueta	35
Figura 55 - Gráficos	36
Figura 56 - Pastas de gráficos do <i>NB-Designer</i>	36
Figura 57 – Adicionar novos gráficos	37
Figura 58 – Características do novo gráfico	37
Figura 59 - Carregar imagem.....	38
Figura 60 – Definições de controlo	39
Figura 61 - Definição de apresentação	40
Figura 62 - Modo de Download.....	40
Figura 63 - Definição dos parâmetros de comunicação da HMI	41
Figura 64 - <i>System Setting Mode</i>	41
Figura 65 – NB7W-TW01B SETUP	42
Figura 66 – Configuração do Endereço IP no <i>Sysmac Studio</i>	42
Figura 67 – Verificação do Endereço IP do PLC.....	43
Figura 68 – <i>Download</i>	43
Figura 69 – <i>Download</i> do projeto	43
Figura 70 - Compilar o projeto	44
Figura 71 - Grafcet do exercício ilustrativo	44
Figura 72 – Caminho percorrido pelas etapas da etapa 1 à etapa 4	46
Figura 73 – Apresentação das ações associadas às etapas 2 a 7	46
Figura 74 – Ladder associado ao acionamento do botão amarelo	47
Figura 75 – “Communications Setup”	48
Figura 76 – Configurar a comunicação.....	48
Figura 77 – Modo online	49
Figura 78 - Sincronizar.....	49
Figura 79 – Transferir o programa para o PLC	49
Figura 80 – <i>RUN Mode</i>	50
Figura 81 – Sair do “RUN mode”	50
Figura 82 – Sair do modo Online.....	50

Figura 83 - Inserir caixa de texto	51
Figura 84 –Tecla de Função.....	51
Figura 85 - Selecionar a janela para a qual se pretende mudar.....	51
Figura 86 - Data/Hora.....	52
Figura 87 - Ecrã inicial	52
Figura 88 - Gráfico utilizado para fechar a janela	53
Figura 89 - Ecrã de exercícios.....	53
Figura 90 - Definição de Estado de Bits – Atributos Básicos.....	54
Figura 91 - Luz de Estado de Bits - Atributos Básicos.....	54
Figura 92 - Estados de Bits	55
Figura 93 – Endereço de leitura – Contador	56
Figura 94 – Configuração dos dados numéricos	57
Figura 95 - Exercício exemplo (HMI)	57
Figura 96 – Figura ilustrativa das ruas A e B [2]	58
Figura 97 - Representação da entrada e saída do parque de estacionamento [2].....	60
Figura 98 - Resolução do exercício 1.2 (Grafcet)	65
Figura 99 - Resolução do exercício 1.2 - Rua A (Ladder).....	66
Figura 100 - Resolução do exercício 1.2 - Rua B (Ladder)	67
Figura 101 - Exercício 1 (HMI)	67
Figura 102 – Bitmap	68
Figura 103 – Variáveis utilizadas na programação da interface – Exercício 1	68
Figura 104 - Resolução do exercício 2 (Grafcet)	68
Figura 105 - Resolução do exercício 2 (Ladder)	69
Figura 106 - Exercício 2 (HMI)	69
Figura 107 - Animação	70
Figura 108 - Atributos básicos do componente de deslocação	70
Figura 109 - Linhas de código Ladder associadas à programação da HMI - Exc. 2	70
Figura 110 – Variáveis utilizadas na programação da interface – Exercício 2	71
Figura 111 - Resolução do exercício 3 (Grafcet)	71
Figura 112 – Resolução do exercício 3 (Ladder).....	71
Figura 113 – Exercício 3 (HMI)	72
Figura 114 – Apresentação de Alarme.....	72
Figura 115 - Apresentação de alarme	73
Figura 116 – Variáveis utilizadas na programação da interface – Exercício 3	73
Figura 117 - Resolução do exercício 4.1.....	73
Figura 118 - Resolução do exercício 4.1 (Ladder) – Condições de transição	75
Figura 119 - Resolução do exercício 4.1 (Ladder) –Ações.....	76
Figura 120 - Resolução do exercício 4.1 (Ladder) – Condições associadas às cancelas de entrada e de saída	77
Figura 121 - Resolução do exercício 4.1 (Ladder) – Variáveis usadas na programação da HMI	78
Figura 122 - Exercício 4.1 (HMI)	78
Figura 123 - Alarme (Exc. 4.1)	79
Figura 124 - Apresentação condicional (Exc. 4.1)	79

Figura 125 – Variáveis utilizadas na programação da interface – Exercício 4.1	80
Figura 126 - Resolução do exercício 4.2 (Grafect)	80
Figura 127 - - Resolução do exercício 4.2 (Ladder)	81
Figura 128 - Exercício 4.2 (HMI)	81
Figura 129 - Apresentação condicional (Exc. 4.2)	82
Figura 130 – Variáveis utilizadas na programação da interface – Exercício 4.2	82
Figura 131 - Resolução do exercício 5 – Alternativa 1 (Grafcet).....	83
Figura 132 - Resolução do exc. 5 – Alternativa 1 – Abertura e fecho do portão (Ladder).....	83
Figura 133 - Resolução do exc. 5 – Alternativa 1 – Ações da abertura e fecho do portão	84
Figura 134 - Resolução do exc. 5 – Alternativa 1 – Paragem do portão (Ladder).....	84
Figura 135 - Resolução do exc. 5 - Alternativa 1 - Condições (Ladder).....	85
Figura 136 - Resolução do exc. 5 - Alternativa 1 – HMI (Ladder).....	85
Figura 137 - Resolução do exercício 5 - Alternativa 2 (Grafect).....	86
Figura 138 - Resolução do exc. 5 - Alternativa 2 – Alterações relativas à alternativa 1 (Ladder)	86
Figura 139 - Resolução do exc. 5 - Alternativa 2 – Paragem do portão (Ladder).....	87
Figura 140 - Resolução do exc. 5 - Alternativa 2 - Sensor de presença (Ladder).....	88
Figura 141 - Exercício 5- Alternativa 1 e 2 (HMI)	88
Figura 142 – Variáveis utilizadas na programação da interface – Exercício 5	89
Figura 143 – Resolução do exercício 6 (Grafcet).....	90
Figura 144 - Resolução do exercício 6 - Botão OFF (Grafcet).....	90
Figura 145 - Resolução do exercício 6 - Scalling (Ladder)	91
Figura 146 - Resolução do exercício 6 (Ladder)	91
Figura 147 - Resolução do exercício 6 - Saída analógica e HMI (Ladder).....	92
Figura 148 - Resolução do exercício 6 - Botão OFF (Ladder).....	92
Figura 149 - Exercício 6 (HMI)	93
Figura 150 – Barra (Gráfico de barras).....	93
Figura 151 - Escala (Gráfico de barras).....	94
Figura 152 - Alarmes (Exc. 6).....	94
Figura 153 – Variáveis utilizadas na programação da interface – Exercício 6	94
Figura 154 - Ecrã de exercícios (completo)	95

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Definição das saídas (exercício 1).....	58
Tabela 2 – Definição das entradas e saídas (exercício 2).....	59
Tabela 3 – Definição das entradas e saídas (exercício 3).....	59
Tabela 4 – Definição das entradas e saídas (exercício 4.1).....	61
Tabela 5 – Definição das entradas e saídas (exercício 4.2).....	61
Tabela 6 – Definição das entradas e saídas (exercício 5 – alternativa 1).....	62
Tabela 7 – Definição das entradas e saídas (exercício 5 – alternativa 2).....	63
Tabela 8 – Definição das entradas (exercício 6).....	64

1. Exercícios

Apresenta-se a seguir uma série de exercícios elaborados para apoiar a aprendizagem de programação de alguns dos dispositivos presentes na bancada didática. Os exercícios baseiam-se no controlo de saídas digitais (LEDs), na leitura de entradas digitais acionadas por botões e sensores, na simulação da operação de um motor e na aplicação de temporizadores e contadores.

Para isso, será fornecido um *template* com a configuração prévia dos módulos e a listagem das variáveis de comunicação estabelecidas entre o controlador lógico programável (PLC - *Programmable Logic Controller*) e os dispositivos utilizados, utilizando-se o acoplador (carta de cabeceira) de comunicação Ethernet/IP.

É importante mencionar que os exercícios não incluem a criação de uma HMI, uma vez que desenvolver uma HMI para cada exercício exigiria um tempo adicional considerável. No entanto, o utilizador é livre de criar uma, caso tenha interesse.

Dominar os conceitos básicos dos GRAFCETs ajudará o utilizador a resolver os exercícios de forma mais eficiente, já que essa ferramenta contribui para uma melhor compreensão, planeamento e controlo de processos automatizados, ao apresentar de forma clara as etapas e transições do sistema. Ainda assim, alguns exercícios introdutórios serão suficientemente simples para que possam ser resolvidos mesmo por quem não tenha conhecimentos prévios sobre GRAFCET.

Assim, será feita uma introdução ao GRAFCET e à linguagem Ladder, com o intuito de explicar o seu funcionamento de forma que seja possível ao utilizador elaborar as suas próprias soluções dos exercícios propostos. A abordagem será centrada nos conceitos fundamentais, sem aprofundar todas as regras de elaboração. O conteúdo apresentado será suficiente para permitir a resolução dos exercícios propostos. Além disso, será realizado um exercício prático exemplificativo, com o objetivo de aplicar os conceitos abordados e facilitar a sua compreensão.

Após criar um GRAFCET, será necessário implementá-lo em Ladder, no *Sysmac Studio*, e verificar o seu funcionamento. É fundamental que o GRAFCET seja desenvolvido de forma clara, funcional e que represente corretamente o processo automatizado em questão.

1.1. GRAFCET

GRAFCET (Gráfico para Controlo de Estado-Transição), também denominado de SFC (Sequential Function Chart) é uma ferramenta gráfica utilizada para auxiliar a criação de sistemas industriais automatizados.

O GRAFCET tem por base três partes principais:

- **Etapas** (Steps), normalmente representadas por um retângulo com uma numeração no interior, correspondem aos diferentes estados em que o sistema se pode encontrar;
- **Transições** (Transitions), representadas por um traço horizontal. Têm associadas a Recetividades que determinam as condições que precisam ser cumpridas para que o sistema mude de uma etapa para outra;
- **Ações** (Actions), exibidas ao lado direito da etapa, definem o que deve acontecer em cada etapa que é ativa.

Na Figura 1 estão identificadas as partes de um GRAFCET.

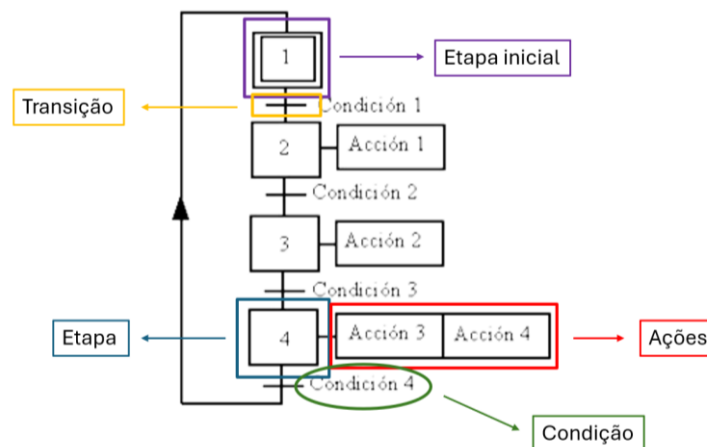


Figura 1 – Identificação das partes de um GRAFCET

É importante ter em conta algumas regras:

Etapa inicial:

- É o ponto de partida de cada GRAFCET;
- Utiliza-se para dar início ao ciclo de funcionamento do automatismo. Normalmente não tem Ações associadas;
- É representada por um quadrado em traço duplo e pode ser colocada em qualquer local do GRAFCET;
- Há pelo menos uma em cada GRAFCET.

Etapas:

- Não pode haver duas etapas seguidas;
- Devem estar numeradas, ainda que não haja uma correlação entre a sua numeração;
- Não pode haver duas com a mesma numeração;
- Podem estar ativas ou inativas;
- Podem ou não ter Ações associadas;

Transições:

- Não pode haver duas transições seguidas.

- Quando as recetividades, associadas às transições, são validadas, ativam as etapas imediatamente seguintes e desativam as etapas imediatamente precedentes;
- As transições que podem ser realizadas ao mesmo tempo são executadas simultaneamente.

As Ações podem ser representadas de diferentes formas, como as da Figura 2.

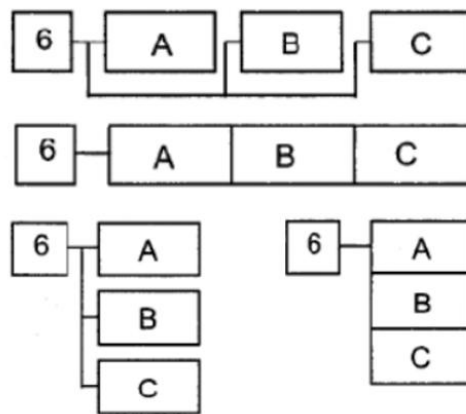


Figura 2 – Demonstração de diferentes formas de representação das Ações

É possível definir valores para variáveis utilizando as Ações ligadas às etapas. Por exemplo, no caso de um contador, se quisermos incrementá-lo, podemos atribuir à variável C o valor de C+1, ou seja, escrever $C = C + 1$. Da mesma forma, se quisermos que o contador comece com um valor diferente de zero, podemos simplesmente atribuir-lhe esse valor, como por exemplo $C = 5$.

A ligação entre etapas pode ser feita pelas seguintes estruturas, representadas na Figura 3:

- **Sequência única** – quando só há um único ramo;
- **Sequências opcionais** - divergência e convergência OU: permite a ativação de diferentes etapas dependendo da validação das transições associadas e permite a ativação de uma etapa resultante da validação de diferentes transições, respetivamente;
- **Sequências simultâneas** - divergência e convergência E: permite que sequências paralelas totalmente independentes umas das outras sejam ativas em simultâneo e que uma etapa só seja ativa quando todos os ramos paralelos tiverem chegado à sua etapa de espera, respetivamente;
- **Saltos de etapas** – caso particular da divergência OU, que possibilita avançar diretamente entre etapas com base nas condições definidas pelas recetividades;
- **Repetição de etapas** – quando se deseja executar um conjunto de etapas repetidamente, até que uma certa condição seja satisfeita.

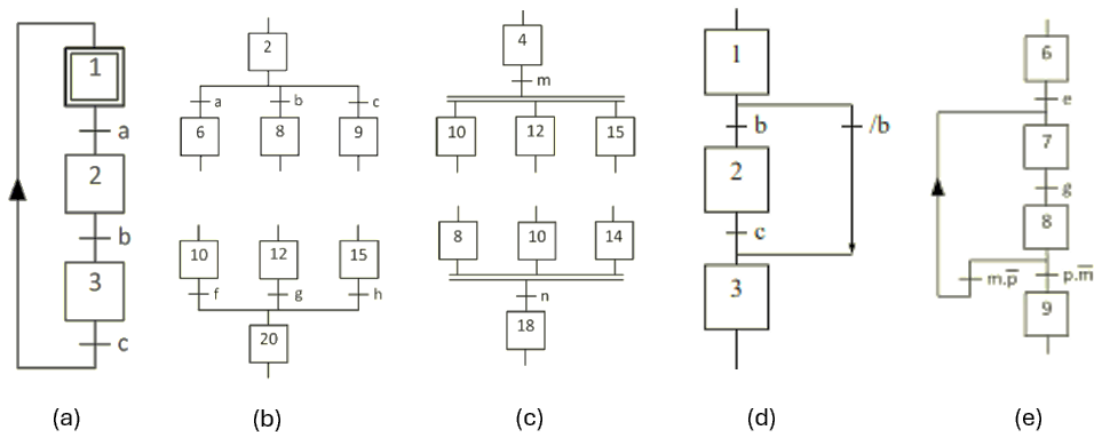


Figura 3 – Estruturas do GRAFCET: (a) sequência única; (b) sequências opcionais; (c) sequências simultâneas; (d) saltos de etapas; (e) repetição de etapas

Condições de transposição de uma transição:

- Quando for preciso que mais de uma condição esteja satisfeita para passar de uma etapa para outra, usa-se o símbolo (.) entre essas condições.
- Quando a etapa seguinte pode ser ativada por uma ou outra condição utiliza-se o símbolo (+) entre elas;
- Quando se pretende negar uma variável, por norma, escreve-se a mesma com um traço horizontal por cima ou com o símbolo “/” atrás;
- A representação dos temporizadores nas recetividades é feita por “nome do temporizador/etapa que ativa o temporizador/tempo que se pretende contar” (ex.: t1/X2/5s – significa que para avançar para a etapa seguinte é necessário que o temporizador 1, que foi ativado na etapa 2, termine a contagem de cinco segundos).

1.2. Ladder

Ladder é a linguagem mais comum na programação de PLCs por ser de fácil compreensão, já que se assemelha bastante à lógica dos circuitos de comandos elétricos. É uma linguagem simbólica que representa elementos como contactos, bobinas, temporizadores, contadores, instruções de comparação, entre outros.

O diagrama Ladder é composto, essencialmente, por uma linha de potência, condições e saída(s), como ilustrado na Figura 4. Cada etapa do GRAFCET dá origem a uma linha de código, que é executada da esquerda para a direita e de cima para baixo.

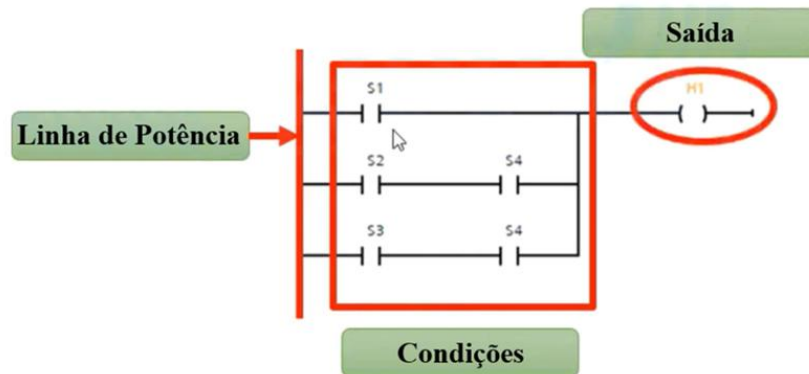


Figura 4 – Identificação das partes de um diagrama Ladder [1]

Algumas regras devem ser tidas em conta no diagrama Ladder:

- Cada linha de programação deve terminar com uma instrução de bobina ou caixa;
- Não se pode terminar uma linha de programação com instruções de comparação ou detecção de flanco (positivo ou negativo);
- Não se pode criar uma ramificação que provoque o fluxo de energia no sentido contrário ao estabelecido;
- Não se pode criar uma ramificação que cause um curto-circuito, como representado na Figura 5, não sendo sequer possível fazê-lo no *software*.

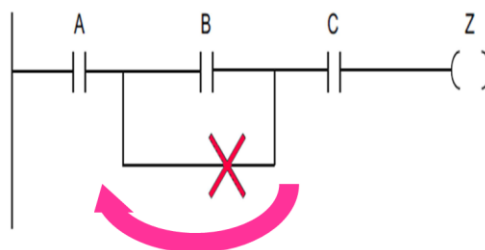


Figura 5 – Curto-circuito na ramificação [1]

1.3. Sysmac Studio

Os exercícios em linguagem Ladder serão feitos no *software Sysmac Studio*. Embora sejam fornecidos projetos modelo já com os módulos configurados e as variáveis de comunicação definidas para cada PLC, este subcapítulo vai explicar como criar um projeto do zero. Também será mostrado onde e como definir variáveis globais e locais, como programar em Ladder no *software*, como simular o programa e, por fim, como encontrar e usar os projetos modelo.

1.3.1. Criação de um projeto

Para iniciar um projeto neste *software* é necessário seguir os seguintes passos:

- 1) Escolha a opção *New Project* que aparece na barra de opções lateral (lado esquerdo) quando se inicia o *software* (Figura 6)

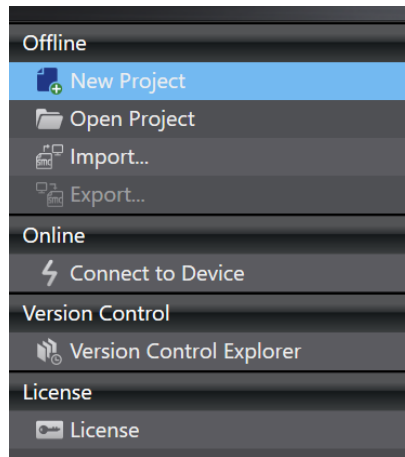


Figura 6 – Criação de um novo projeto

- 2) Edite as propriedades do projeto (Figura 7);

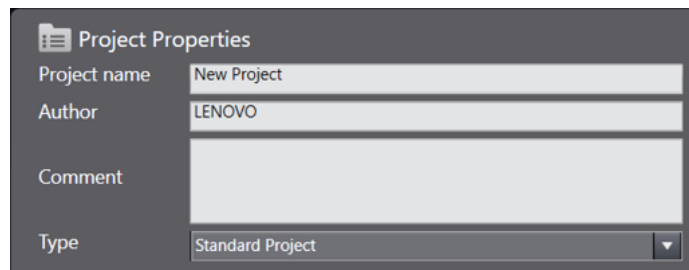


Figura 7 – Definição das propriedades do projeto

- 3) Selecione o dispositivo que pretende programar (Figura 8). No *Sysmac Studio* é possível escolher diferentes dispositivos de diferentes categorias e de diferentes versões (Figura 9);

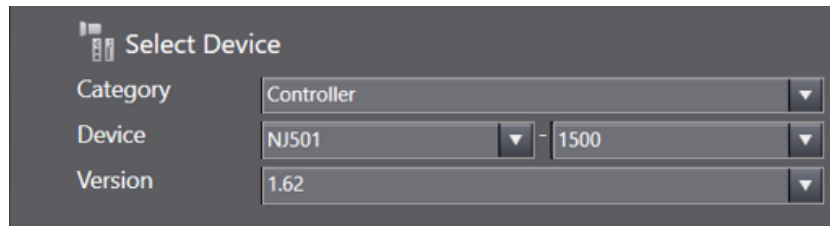


Figura 8 – Seleção do dispositivo

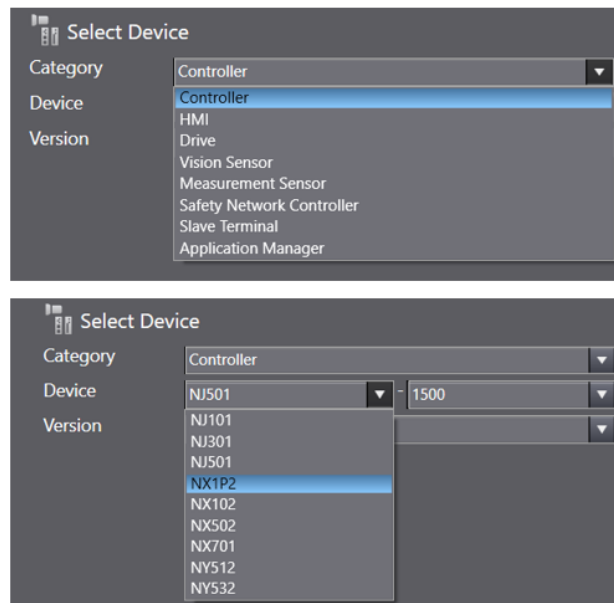


Figura 9 – Categorias e dispositivos disponíveis

4) Carregue em *Create* (Figura 10).

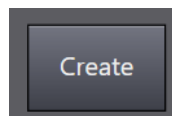


Figura 10 – Botão "Create"

Na Figura 11 é dado o exemplo de como seria definido um projeto para programação de um PLC NX1P2-1040DT1.

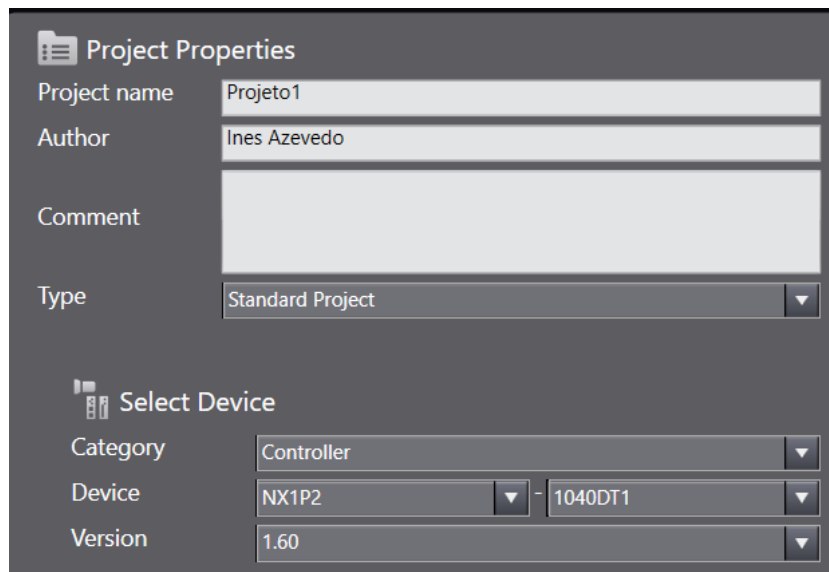


Figura 11 – Projeto exemplo para programação de PLC NX1P2-1040DT1

Os projetos criados, quando são guardados, ficam disponíveis numa lista de projetos do *software*. Para aceder a um projeto deve seguir os seguintes passos:

- 1) Escolha a opção *Open Project* que aparece na barra de opções lateral (no lado esquerdo) quando o programa abre (Figura 12);

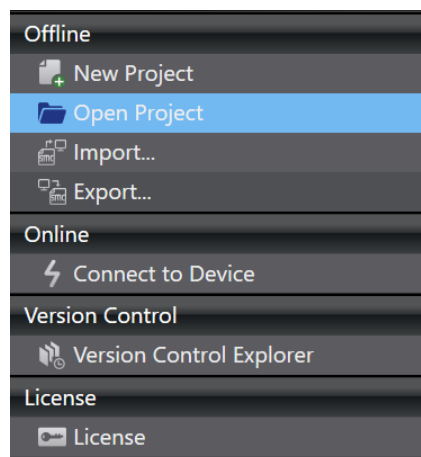


Figura 12 – Abrir lista de projetos

- 2) Selecione o projeto pretendido na lista de projetos ou procure diretamente na barra de pesquisa (Figura 13);

Projects					
Project Name Search					Projects Count : 12
Project name	Comment	Last Modified	Created	Author	
exercicio_analogicas		25/06/2025 17:49:...	11/04/2025 17:08:...	Ines	
New Project		18/06/2025 19:28:...	18/06/2025 19:28:...	LENOVO	
PLC 1_teste		18/06/2025 19:23:...	18/06/2025 19:12:...	Ines Azevedo	
PLC 1_exc4_alternativa2_resolvido		18/06/2025 18:08:...	17/06/2025 17:45:...	Ines Azevedo	
PLC 1_exc4_alternativa1_resolvido		18/06/2025 18:00:...	17/06/2025 17:13:...	Ines Azevedo	
PLC 1_EXC.2.2_resolvido		18/06/2025 17:50:...	17/06/2025 10:58:...	Ines Azevedo	
PLC 1_exc1.2_resolvido		18/06/2025 17:49:...	16/06/2025 17:54:...	Ines Azevedo	
PLC 1_exc1.1_resolvido		18/06/2025 17:48:...	16/06/2025 17:38:...	Ines Azevedo	
PLC 1_exc_exemplo		18/06/2025 17:47:...	15/06/2025 19:32:...	Ines Azevedo	
PLC 1		18/06/2025 17:46:...	09/06/2025 11:09:...	Ines Azevedo	
PLC2		09/06/2025 11:34:...	09/06/2025 11:25:...	Ines Azevedo	
Exercicio1		04/04/2025 18:25:...	28/03/2025 17:38:...	Ines	

Figura 13 – Escolha do projeto

- 3) Carregue no botão *Open* (Figura 14), ou faça duplo clique sobre o projeto com o botão esquerdo do rato.

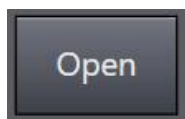


Figura 14 – Botão “Open”

É possível abrir as propriedades do projeto, comparar projetos e apagar projetos carregando nos botões *Properties*, *Compare* e *Delete*, que estão apresentados na Figura 15, respetivamente.

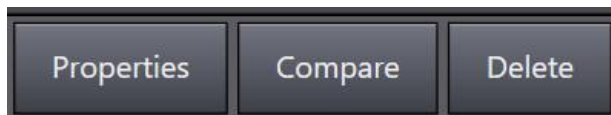


Figura 15 – Outras ações

Sempre que abrir ou iniciar um projeto irá aparecer a página apresentada na Figura 16.

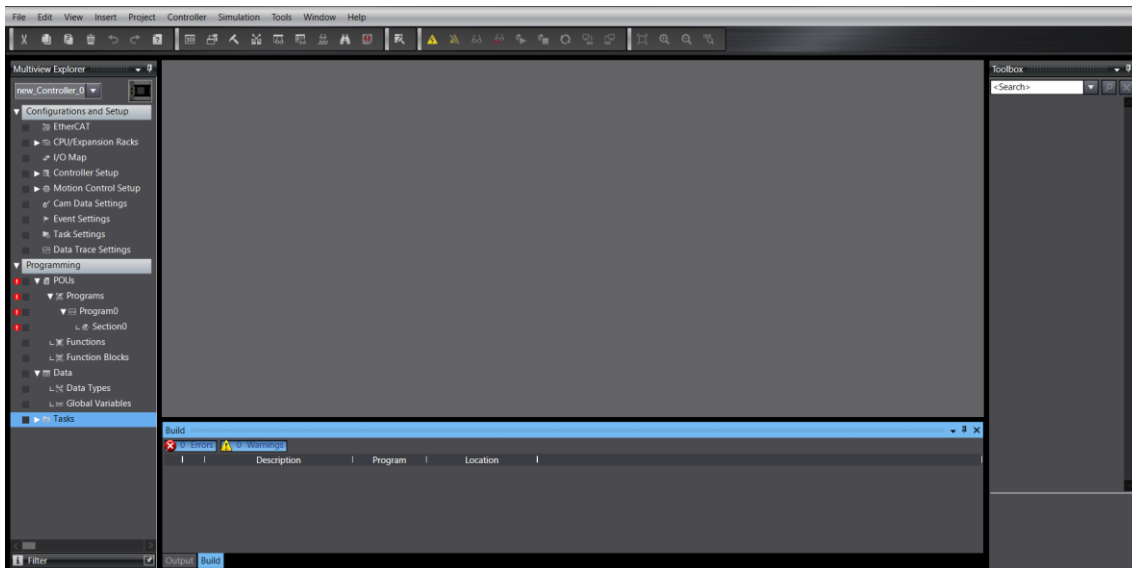


Figura 16 – Página inicial de um projeto

1.3.2. Variáveis globais e variáveis locais

As variáveis globais são definidas na secção *I/O Map* -> *Built-in I/O Settings*, onde são listadas todas as entradas e saídas do PLC, conforme ilustrado na Figura 17. Com um duplo clique na caixa desejada, pode escrever o texto pretendido.

Position	Port	Description	R/W	Data Type	Variable	Variable Comment	Variable Type
	EtherCAT Network Configuration						
	CPU/Expansion Racks						
	Built-in I/O						
	Built-in I/O Settings						
	Input Bit 00	Input Bit 00	R	BOOL	input1	botão verde 1	Global Variables
	Input Bit 01	Input Bit 01	R	BOOL	input2	botão amarelo 1	Global Variables
	Input Bit 02	Input Bit 02	R	BOOL	input3	botão vermelho 1	Global Variables
	Input Bit 03	Input Bit 03	R	BOOL	input4	botão azul 1	Global Variables
	Input Bit 04	Input Bit 04	R	BOOL	input5	botão verde 2	Global Variables
	Input Bit 05	Input Bit 05	R	BOOL	input6	botão amarelo 2	Global Variables
	Input Bit 06	Input Bit 06	R	BOOL	input7	botão vermelho 2	Global Variables
	Input Bit 07	Input Bit 07	R	BOOL	input8	botão azul 2	Global Variables
	Input Bit 08	Input Bit 08	R	BOOL	input9	E2Q5-N20E1-M1	Global Variables
	Input Bit 09	Input Bit 09	R	BOOL	input10	E3FA-DP11	Global Variables
	Input Bit 10	Input Bit 10	R	BOOL	input11	E2K-C25MF1	Global Variables
	Input Bit 11	Input Bit 11	R	BOOL			
	Input Bit 12	Input Bit 12	R	BOOL			
	Input Bit 13	Input Bit 13	R	BOOL			
	Input Bit 14	Input Bit 14	R	BOOL			
	Input Bit 15	Input Bit 15	R	BOOL			
	Input Bit 16	Input Bit 16	R	BOOL			
	Input Bit 17	Input Bit 17	R	BOOL			
	Input Bit 18	Input Bit 18	R	BOOL			
	Input Bit 19	Input Bit 19	R	BOOL			
	Input Bit 20	Input Bit 20	R	BOOL			

Figura 17 – Registo das variáveis globais

Caso o PLC inclua múltiplas cartas de expansão, estas devem ser adicionadas manualmente através do menu **CPU/Extension Racks** -> **CPU Rack**. As cartas necessárias podem ser localizadas rapidamente utilizando a barra de pesquisa destacada a laranja na Figura 18.

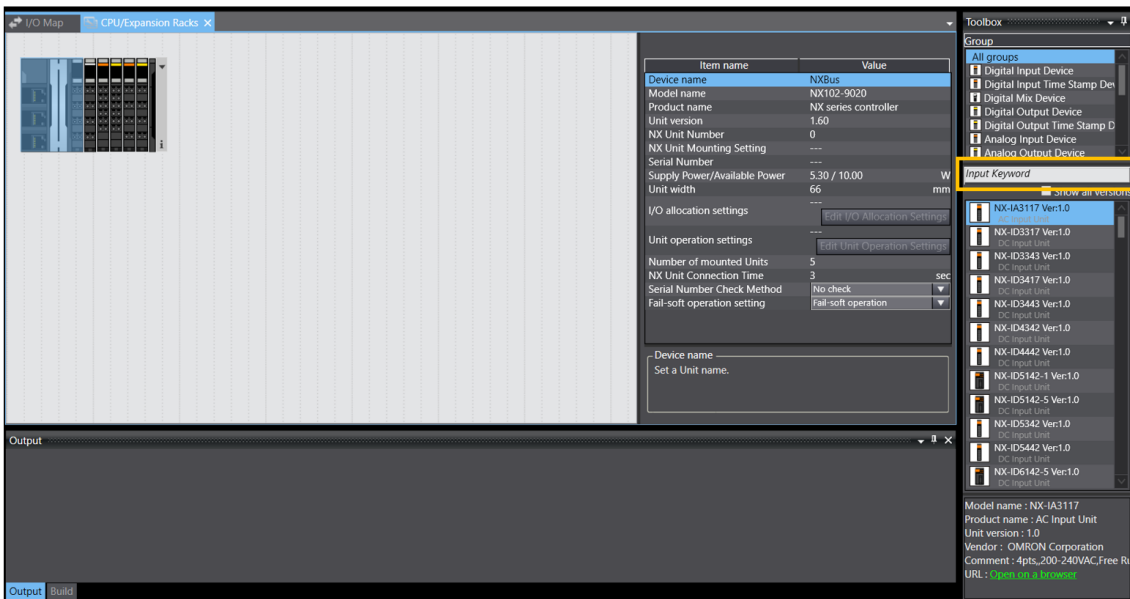


Figura 18 – Adição manual de cartas de expansão

Para aceder às variáveis globais já configuradas, basta dar um duplo clique com o botão esquerdo do rato em *Data -> Global Variables*, como mostrado na Figura 19.

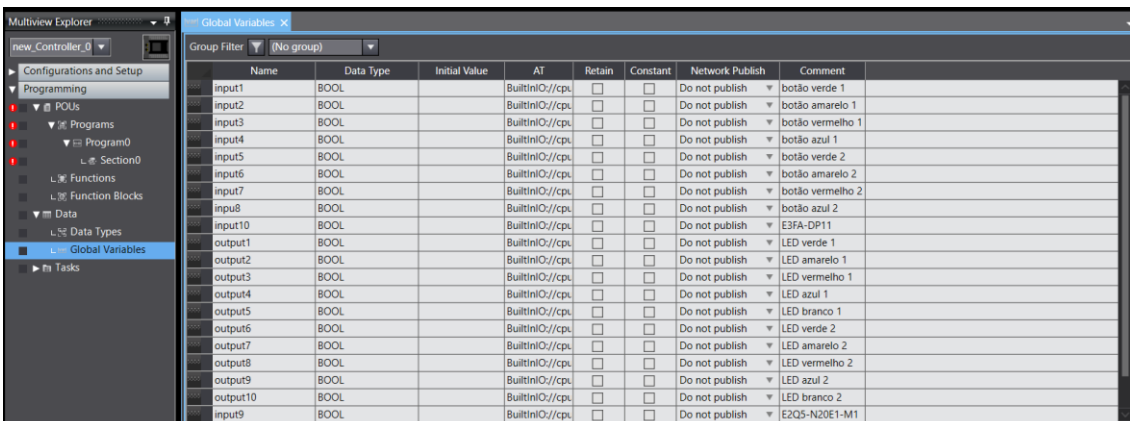


Figura 19 – Variáveis globais do projeto

Também as variáveis locais de cada programa podem ser geridas a partir do menu **View** em *Variable Manager*. A página *Variable Manager* apresenta, inicialmente, a lista de variáveis globais, pelo que, para se aceder às variáveis locais é necessário escolher o programa pretendido, como exemplificado na Figura 20. É, ainda, possível eliminar as variáveis que não estão a ser utilizadas no programa, selecionando a opção *Delete Unused Variables*, através do botão destacado a laranja.

As variáveis locais podem ser criadas diretamente no código do programa. Ao inserir novas variáveis, é possível guardá-las como locais ou globais, conforme mostrado na Figura 21.

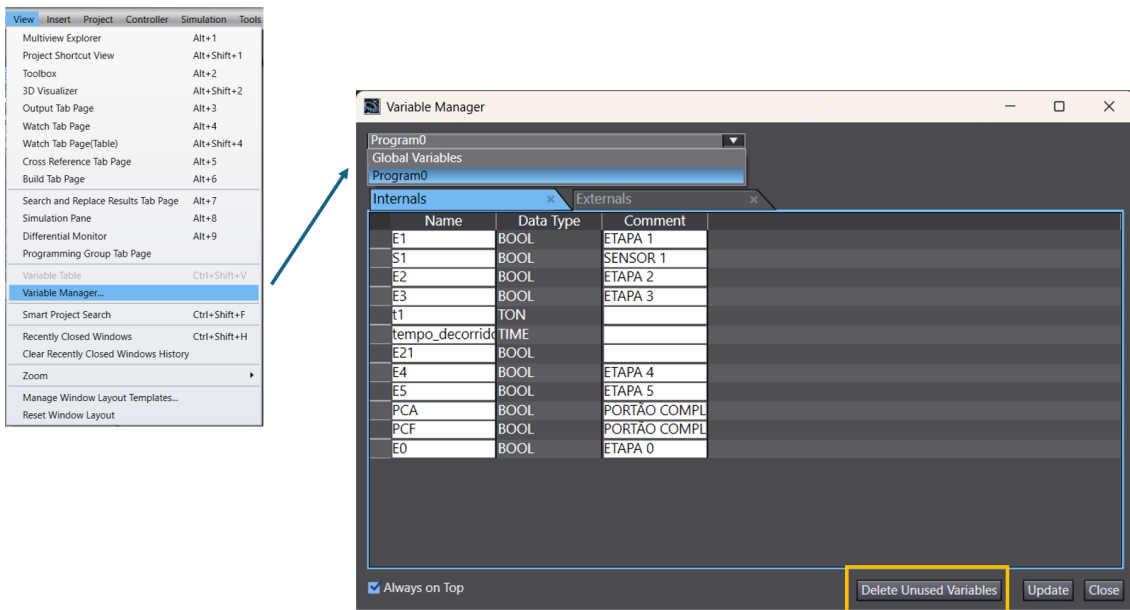


Figura 20 – Gestão das variáveis locais do programa

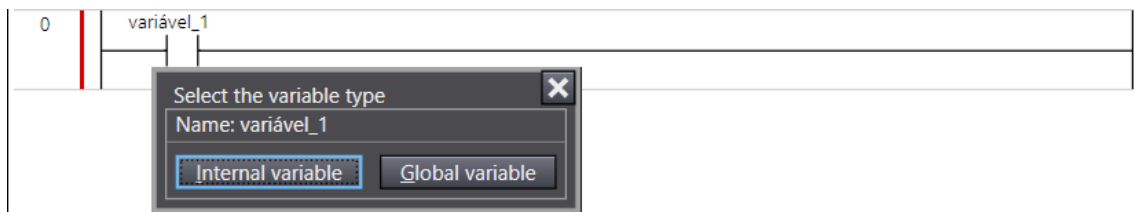


Figura 21 - Inserir variável local

1.3.2.1. Variáveis associadas à HMI

Caso pretenda programar uma HMI é importante que crie variáveis globais e as guarde em áreas de memória.

No caso dos PLCs instalados na bancada didática as áreas de memória não vêm ativas, pelo que é necessário ativar as que pretende utilizar. Para isso aceda ao menu **Configurations and Setup** e seleccione *Controller Setup -> Memory Settings*, como ilustrado na Figura 22, e ative as que achar necessárias (ver Figura 23).

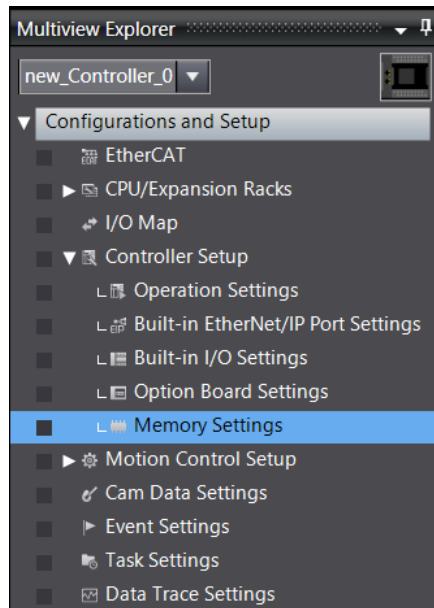


Figura 22 – Memory Settings

Memory Settings for CJ-series Units			
Enable	Area Type	Size (Number of Words)	Retain
<input checked="" type="checkbox"/>	CIO	6144	Not retained
<input checked="" type="checkbox"/>	WR	512	Not retained
<input type="checkbox"/>	HR	512	Retained
<input type="checkbox"/>	DM	4096	Retained

Figura 23 - Ativação de áreas de memória

A Figura 24 mostra um exemplo de duas variáveis criadas, uma para um botão e outra para um contador.

azul1_HMI	BOOL		%W0.03	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Publish Only	botão azul 1_HMI
contador_amarelo	INT		%W50	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Publish Only	

Figura 24 - Variáveis guardadas em áreas de memória

1.3.3. Programação em Ladder

Os programas de cada projeto são exibidos no lado esquerdo da página, através do menu **Multiview Explorer** -> *Programming* -> *Programs*, conforme ilustrado na Figura 25. Cada programa pode ser dividido em várias secções. Ao criar um novo projeto, é automaticamente gerado um programa com uma secção inicial.

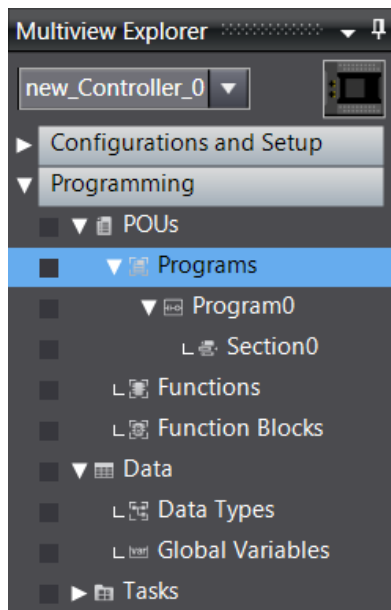


Figura 25 – Lista de programas do projeto

Para adicionar novas secções, basta clicar com o botão direito do rato sobre “Program0” e escolher a opção *Add Section*, como mostrado na Figura 26. Da mesma forma, é possível criar novos programas clicando com o botão direito sobre o menu **Programs** e selecionando a opção *Add Ladder* ou outra linguagem, como apresentado na Figura 27.

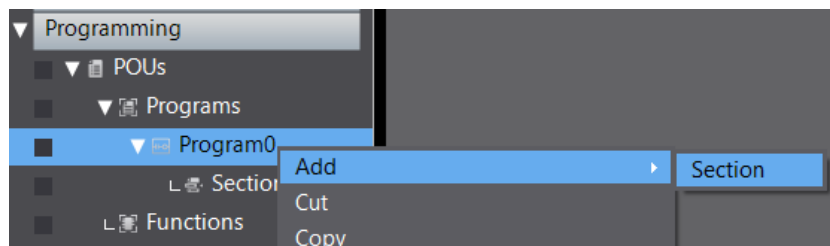


Figura 26 – Criação de novas secções

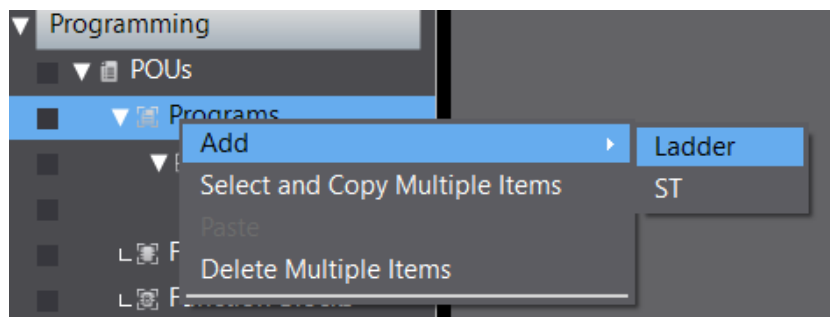


Figura 27 – Criação de novos programas

É possível renomear os programas e secções carregando sobre os mesmos com o botão direito do rato e selecionando a opção *Rename*.

Para começar a construir o Ladder, basta escolher a secção onde se deseja trabalhar. Ao fazer um duplo clique com o botão esquerdo do rato nessa secção, a página de programação será aberta.

Para dar início à programação, deve-se selecionar a primeira linha do programa. Os diversos elementos necessários à programação podem ser inseridos utilizando as opções que surgem ao

clicar com o botão direito do rato sobre a linha ou através de atalhos de teclado, conforme ilustrado na Figura 28.

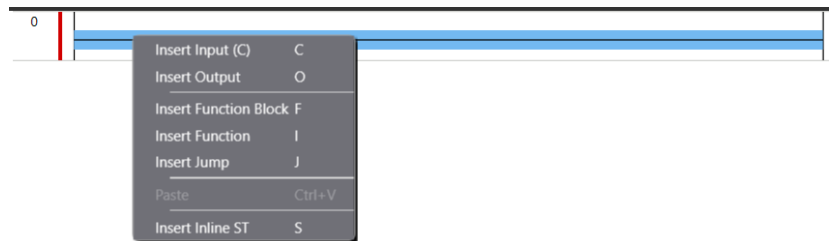


Figura 28 – Inserção dos elementos de programação

Por padrão, os Inputs são inseridos em série. No entanto, quando se pretende representar uma alternativa (um OU), é necessário colocá-los em paralelo. Para isso, basta arrastar uma das condições sobre a outra.

Ao clicar com o botão direito do rato sobre qualquer elemento, surge uma lista de opções com as ações que podem ser realizadas sobre esse elemento. Na Figura 29 é apresentado o caso de um Output, onde é possível, por exemplo inverter o sinal e selecionar a instrução de *Set* ou *Reset*.

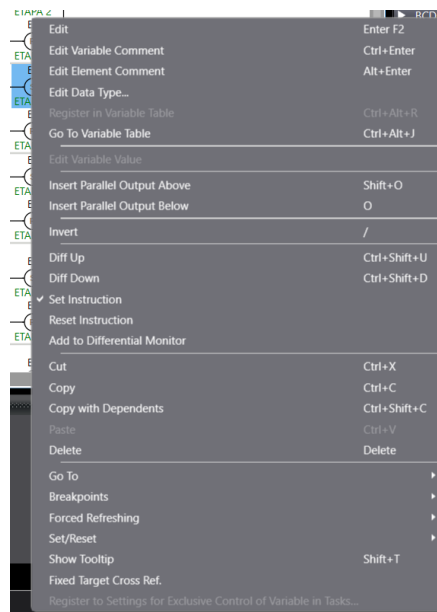


Figura 29 – Escolher uma ação sobre um output

No lado direito do programa encontra-se uma caixa de ferramentas, selecionável nos separadores inferiores, organizada por categorias que inclui, também, uma caixa de texto para pesquisa direta. Ao selecionar qualquer ferramenta é exibida na parte inferior uma breve descrição da sua funcionalidade, conforme ilustrado na Figura 30.

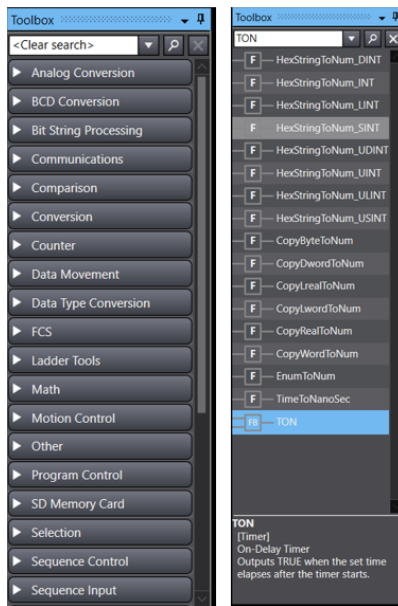


Figura 30 - Caixa de ferramentas

1.3.4. Simulação dos exercícios

O modo de simulação do *Sysmac Studio* permite testar o programa em Ladder mesmo sem acesso direto ao PLC físico. Para isso, deve seguir os passos a seguir indicados:

- 1) Acesse ao menu **Project** e escolha a opção *Check All Programs* para confirmar que não existem erros, conforme ilustrado na Figura 31. Os erros e avisos serão mostrados na área “Build”, destacada na Figura 32, que normalmente se encontra na parte inferior central da página de programação;

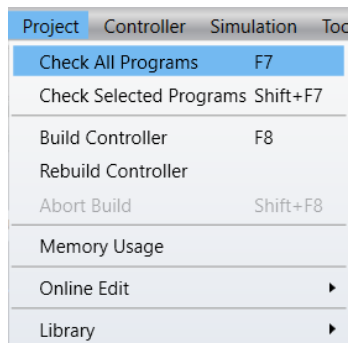


Figura 31 – Verificar o programa

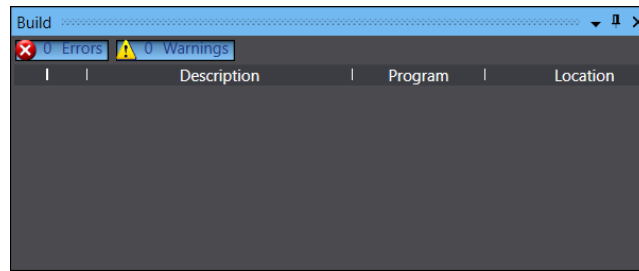


Figura 32 - Secção de exibição de erros e avisos

- 2) Caso existam erros é necessário corrigi-los antes de avançar. Depois de resolvidos deve voltar a repetir-se o passo 1 para confirmar que foram eliminados;
- 3) Se ou quando não houver erros, volte ao menu **Project** e selecione a opção *Rebuild Controller*, como ilustrado na Figura 33;

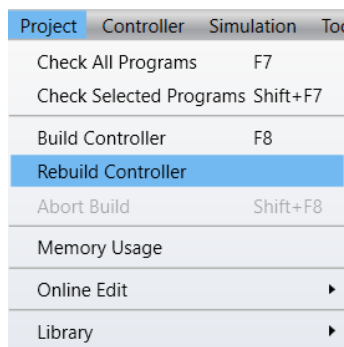


Figura 33 – “Rebuild Controller”

- 4) Por fim, abra o menu **Simulation** e escolha a opção *Run*, como apresentado na Figura 34.



Figura 34 – Correr o programa

Quando seleccionada a opção *Run*, as linhas de código que estão a ser alimentadas com energia ficam destacadas a verde. No exemplo apresentado na Figura 35, as linhas aparecem a verde apenas até à primeira condição de cada uma, uma vez que nenhuma dessas condições está verdadeira, impedindo assim a passagem de corrente.

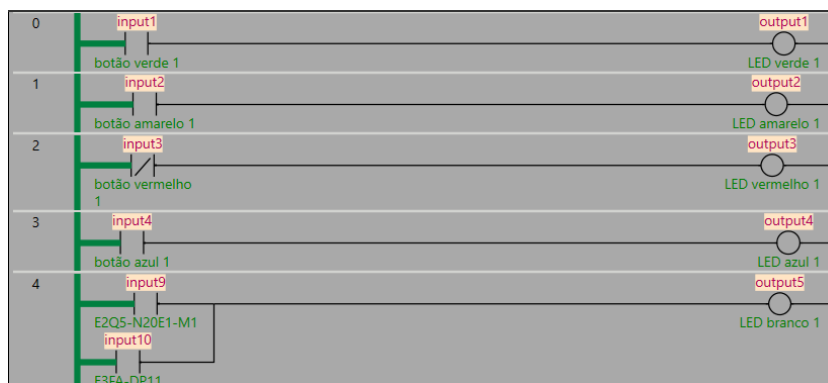


Figura 35 – Modo de simulação

Quando as condições se tornam verdadeiras, permitem a passagem de corrente, o que resulta na ativação das saídas. A Figura 36 ilustra essa situação com um exemplo na linha 0.

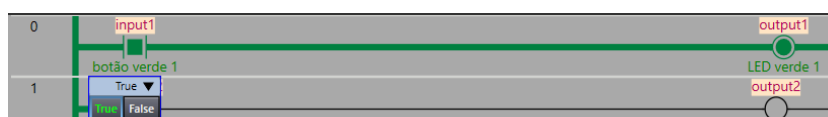


Figura 36 – Ativação do output1

Para voltar a desativar a saída basta selecionar a opção *False*.

Ao ativar o modo de simulação, surge no canto inferior direito a área “Simulation”, apresentada na Figura 37, que permite controlar a simulação — é possível pausá-la, gravar, ajustar a velocidade (aumentar ou diminuir), entre outras funcionalidades disponíveis.

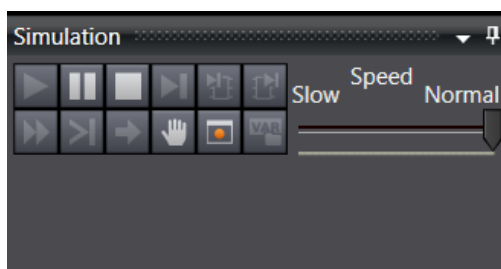


Figura 37 -Área "Simulation"

Ao clicar no botão de ‘parar’ (representado por um quadrado), o programa sai do modo de simulação.

É importante referir que não é possível editar o programa no modo de simulação.

1.3.5. Projetos modelo

Os projetos modelo podem ser encontrados na pasta [Bancada Didática - Projetos Modelo](#) do OneDrive. Existem três projetos modelo, um projeto para cada PLC. Para iniciar a programação deve seguir os seguintes passos:

- 1) Importe um ou mais projetos em que pretende trabalhar para o *software* (ver no enunciado dos exercícios qual o PLC que deve usar), carregando no botão *Import*, conforme ilustrado na Figura 38;

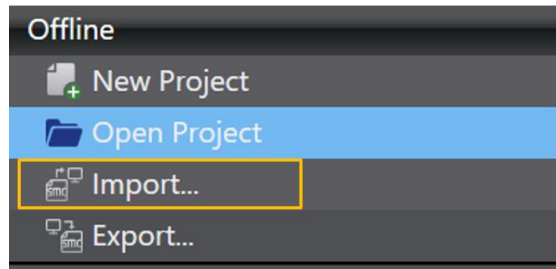


Figura 38 – Importar um projeto

- 2) Selecione o(s) projeto(s). Os projetos importados ficam guardados na lista de projetos, como se pode ver na Figura 39;

PLC2		27/07/2025 16:03:...	08/07/2025 16:17:...	Ines Azevedo
PLC3		27/07/2025 16:01:...	08/07/2025 15:52:...	Ines Azevedo
PLC1		27/07/2025 15:58:...	08/07/2025 14:59:...	Ines Azevedo

Figura 39 - Lista de projetos

- 3) Selecione *Open Project* (a azul na Figura 38) e faça duplo clique com o botão esquerdo do rato no projeto para abri-lo.

Para programar em Ladder e fazer a simulação deve seguir os passos descritos nas secções 1.3.3 e 1.3.4.

1.4. NB-Designer

As duas HMIs instaladas na bancada didática são do modelo NB7W-TW01B da *Omron*, pelo que a programação destas será feita no programa *NB-Designer*. Este subcapítulo descreve, de forma detalhada, o processo de criação de um novo projeto, incluindo a configuração da comunicação por Ethernet entre os dispositivos, o início da programação e o envio do projeto para a interface HMI. Serão também abordados alguns aspetos gerais e relevantes sobre os componentes disponíveis no *software*.

1.4.1. Criação de um projeto

Antes de iniciar a programação da HMI deve criar um novo projeto e executar os seguintes passos:

- 1) **Abra o programa.** A área de trabalho que aparece ao abrir o programa está ilustrada na Figura 40;

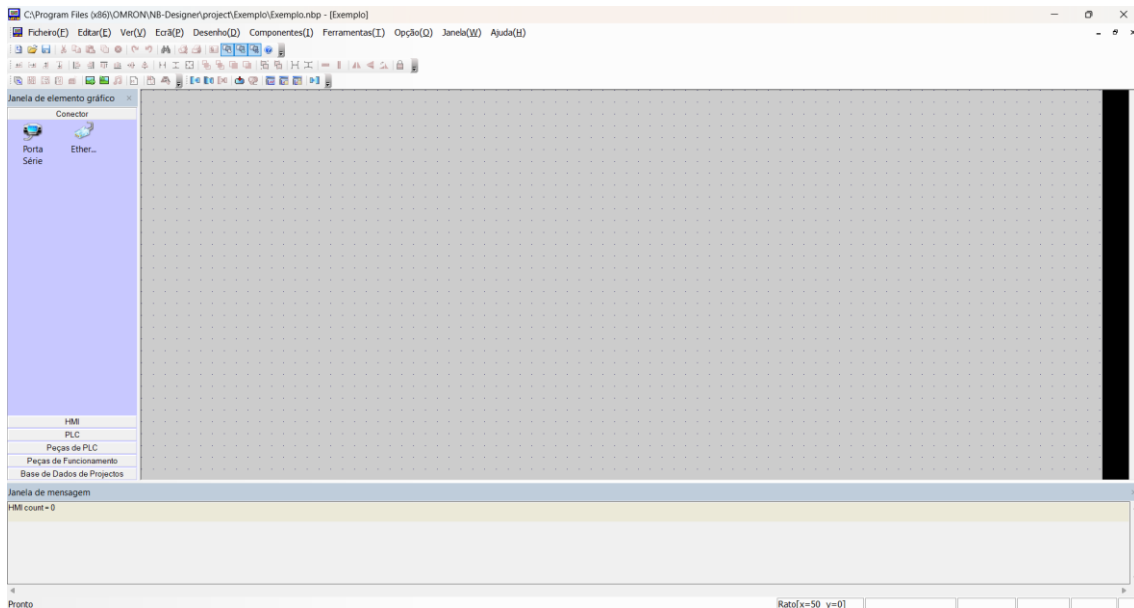


Figura 40 - Área de trabalho do NB-Designer

- 2) **Crie um novo projeto.** No menu **Ficheiro** seleccione a opção **Novo**, como representado na Figura 41. Posteriormente, escolha um nome para o projeto e seleccione **OK**;

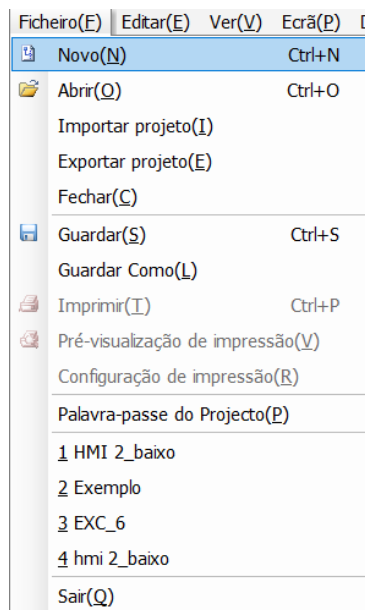


Figura 41 - Criar um projeto no NB-Designer

- 3) **Adicione a HMI.** Para isso é necessário seleccionar o menu **HMI**, destacado a vermelho na Figura 42, e arrastar para a área de trabalho a cinzento o modelo da HMI que se pretende programar;

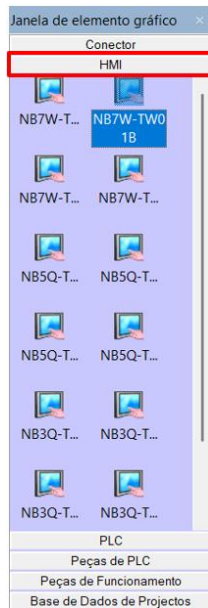


Figura 42 – Adicionar a HMI

- 4) **Adicione o(s) PLC(s) com que se pretende trabalhar.** Para tal é necessário abrir o menu **PLC** destacado a vermelho na Figura 43 e arrastar para a área de trabalho a cinzento o(s) modelo(s) de PLC que se pretende programar;



Figura 43 - Adicionar o(s) PLC(s)

1.4.2. Comunicação entre os dispositivos

Para configurar a comunicação entre a HMI e o(s) PLC(s) siga os passos a seguir indicados:

- 1) **Adicione o tipo de comunicação entre a HMI e os PLCs.**¹ Aceda ao menu **Conector**, destacado a vermelho na Figura 44, e arraste para a área de trabalho a cinzento o tipo de comunicação que pretende utilizar;



Figura 44 – Definir tipo de comunicação entre a HMI e o(s) PLC(s)

- 2) **Configure a comunicação.** Ao arrastar o conector 'Ethernet' para a área de trabalho abre-se a janela de "Definição do Dispositivo de Rede", apresentada na Figura 45, onde devem ser adicionados todos os dispositivos do projeto;

¹ No caso, a comunicação será feita por Ethernet, pelo que apenas será explicada a configuração do conector "Ethernet".

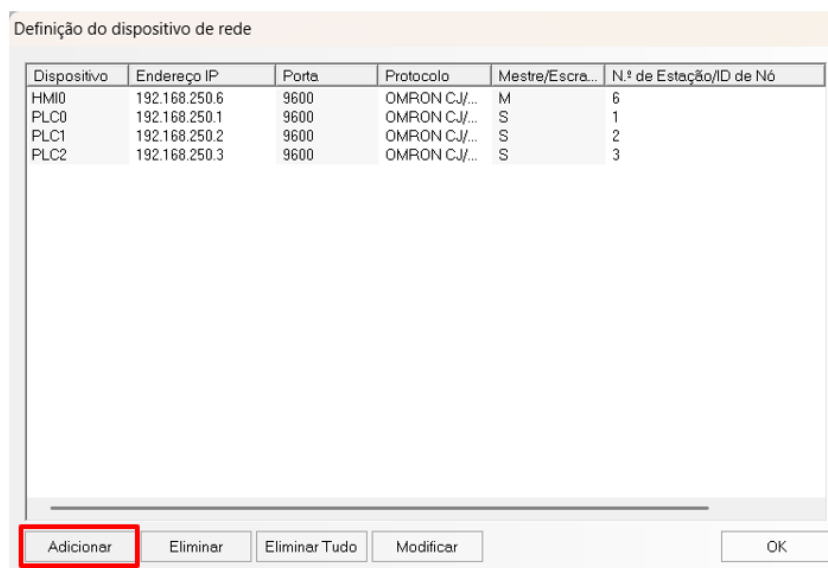


Figura 45 - Definição do dispositivo de rede

- 3) **Adicione os dispositivos.** Clique no botão *Adicionar*, destacado a vermelho na Figura 45, para adicionar os dispositivos. Ao clicar, será aberta a janela mostrada na Figura 46. Nessa janela, indique o tipo de dispositivo e o respetivo endereço IP, o nº de Porta e o ID de Nó². O protocolo de comunicação da HMI deve ser o mesmo que o do(s) PLC(s), por isso esse campo é preenchido automaticamente;

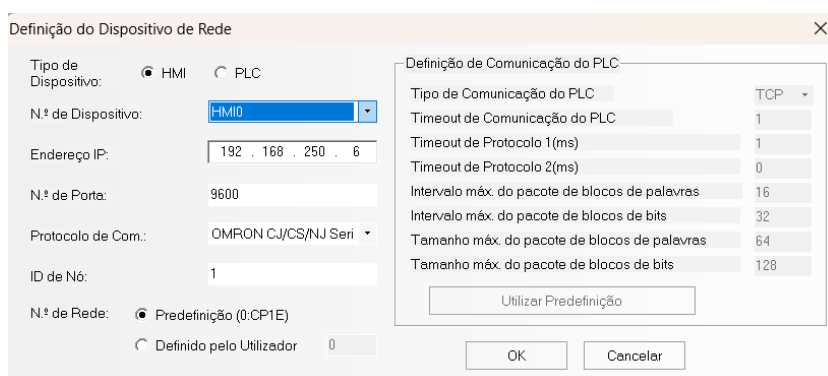


Figura 46 – Configuração de cada dispositivo

1.4.3. Programação da HMI

Após a criação do projeto e a configuração da comunicação entre os dispositivos, pode-se dar início à programação da HMI. Para tal, siga as instruções indicadas a seguir.

- 1) Selecione a opção *Janela de edição de HMI* no menu **Janela** (Figura 47);

² O ID de Nó do dispositivo corresponde ao último dígito do endereço IP do mesmo.

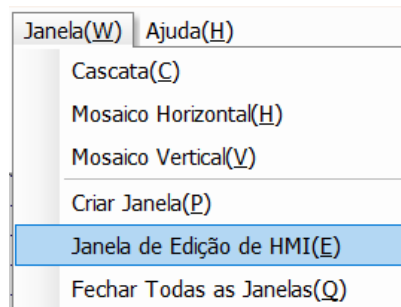


Figura 47 - Abrir janela de edição de HMI

A Figura 48 mostra a área de trabalho depois de aberta a janela de edição da HMI.

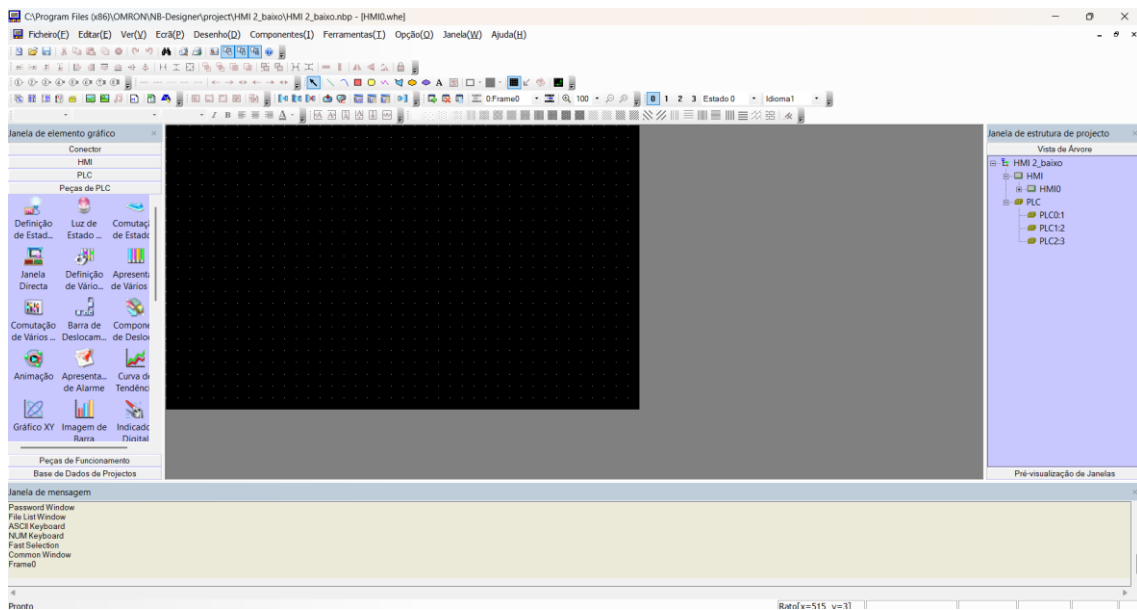


Figura 48 – Área de trabalho – edição de HMI

- 2) No menu **Janela de Estrutura do Projeto**, dê um duplo clique com o botão esquerdo do rato na HMI na qual irá trabalhar (destacada a vermelho na Figura 49);

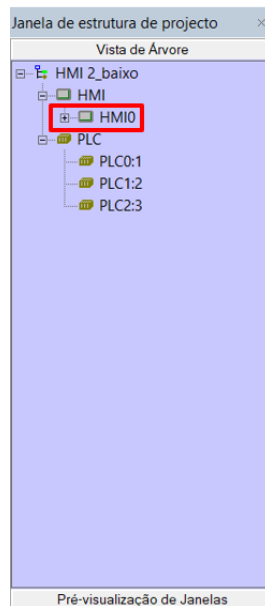


Figura 49 – Início da programação da HMI

Ao seleccionar a HMI, é exibida a lista de molduras associadas a ela, sendo que cada moldura representa uma página diferente da interface. Importa referir que o programa já inclui 9 molduras previamente definidas, cada uma com finalidades diferentes (ver Figura 50). Na programação da HMI, pode utilizar as molduras já existentes ou criar novas molduras, conforme as necessidades do seu projeto.

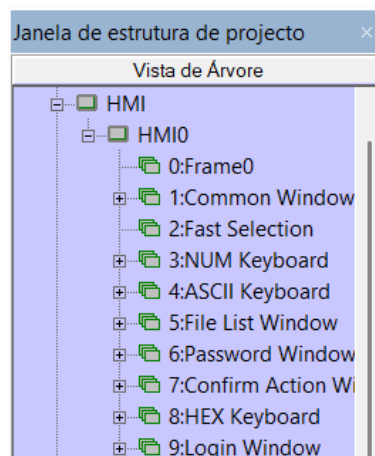


Figura 50 - Molduras predefinidas pelo NB-Designer

Pode criar novas molduras seleccionando a opção *Adicionar moldura* no menu **Ecrã**, conforme ilustrado na Figura 51. Ao fazê-lo, surge uma caixa (ilustrada na Figura 52) que permite definir a posição da nova moldura, ao seleccionar a opção *Personalizar*. Por predefinição, a posição seleccionada é “Terminar”. Nesta mesma caixa, também é possível editar o nome da moldura.

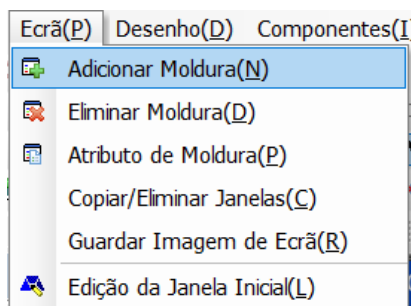


Figura 51 - Adicionar moldura

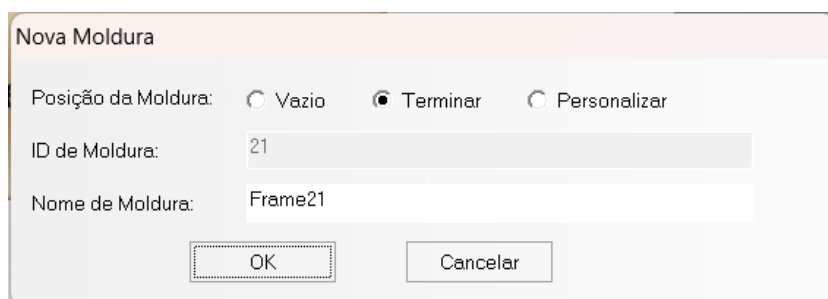


Figura 52 - Nova Moldura – Posição e nome

Uma nova moldura é apresentada, por predefinição, com um formato padrão, como ilustrado na Figura 53. Ao fazer duplo clique sobre ela com o botão esquerdo do rato, é possível alterar as suas características, como o tamanho, a cor de fundo, entre outras opções de configuração.

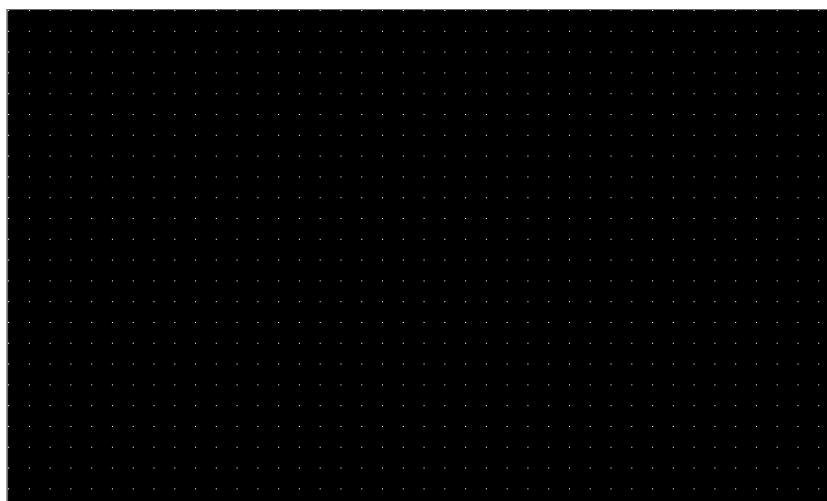


Figura 53 - Nova moldura

Depois de criada a moldura, basta adicionar as peças de PLC ou de funcionamento necessárias, de acordo com o programa que se pretende implementar. É importante referir que a cada componente deve ser associado um endereço, o qual deve ser previamente criado e utilizado no Ladder.

1.4.3.1. Componentes

Para adicionar componentes à moldura, basta arrastá-los para cima desta. Ao fazê-lo, será aberta uma caixa de configuração. Dependendo do componente selecionado, diferentes menus estarão disponíveis, embora alguns sejam comuns à maioria dos componentes. São estes:

- **Etiqueta:** onde é possível atribuir um nome à tecla de função (Figura 54). É possível definir um conteúdo da etiqueta diferente para cada estado;

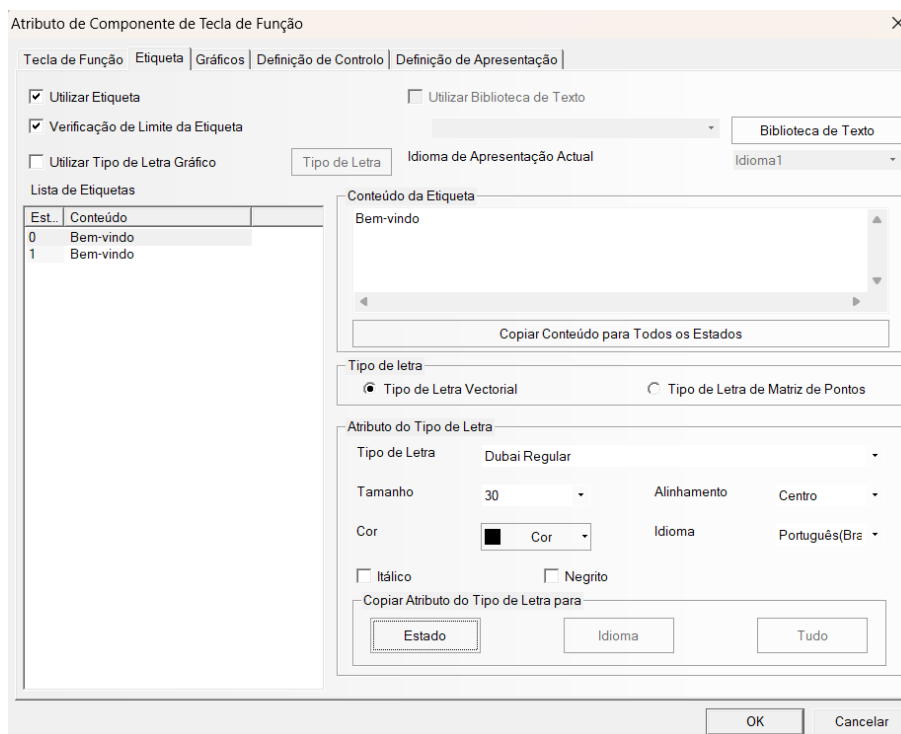


Figura 54 - Etiqueta

- **Gráficos:** define a aparência do componente (Figura 55). Neste menu pode-se usar Gráficos vetoriais ou Bitmap.

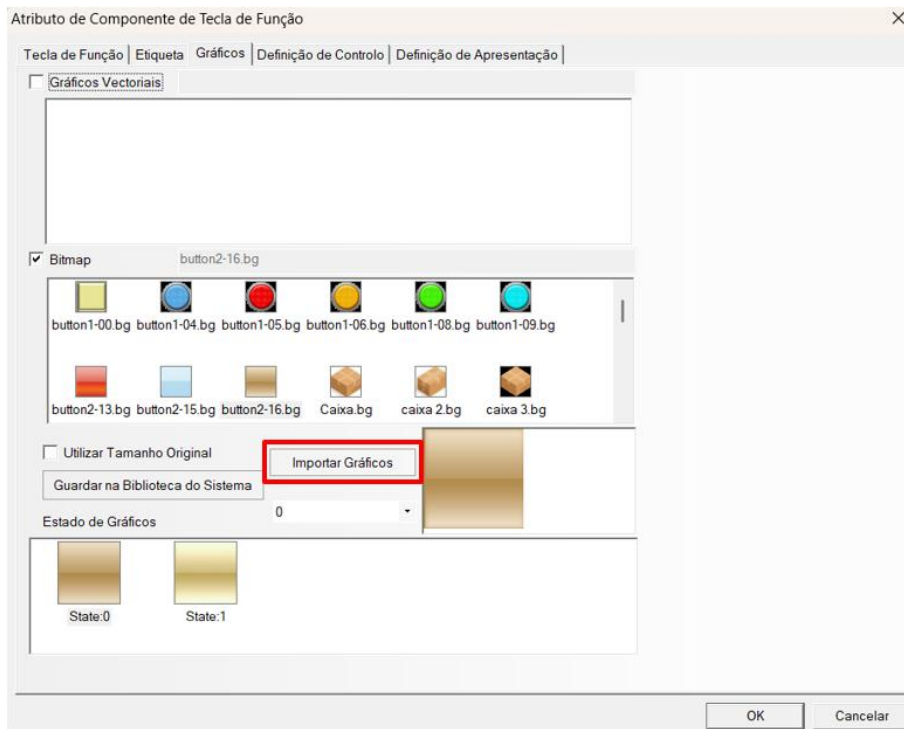


Figura 55 - Gráficos

Pode importar gráficos, ao seleccionar o botão *Importar gráficos*, destacado a vermelho na Figura 55. O *NB-Designer* tem várias pastas internas com diferentes gráficos que podem ser utilizados, devidamente separados por tipos, como se pode ver na Figura 56³.

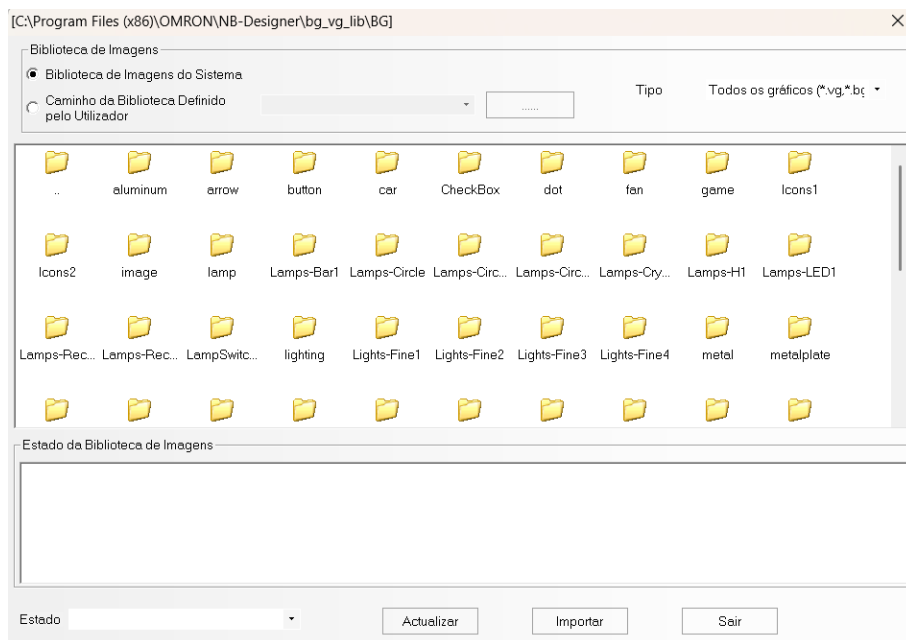


Figura 56 - Pastas de gráficos do *NB-Designer*

³ Estas pastas encontram-se dentro da pasta BG.

Pode ainda criar novos gráficos com imagens do seu computador. Para isso siga os seguintes passos:

- 1) No menu **Desenhos** selecione a opção *Novos Gráficos* conforme ilustrado na Figura 57;

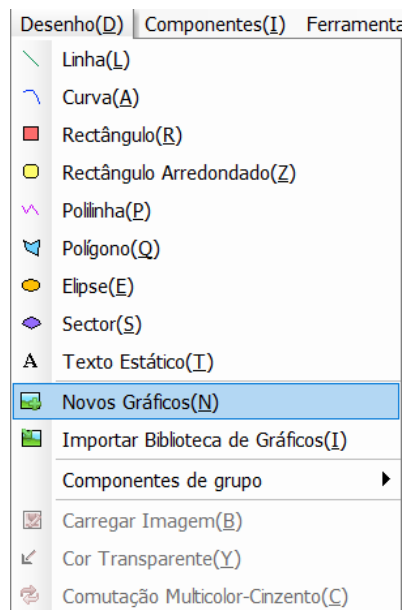


Figura 57 – Adicionar novos gráficos

- 2) Na caixa que surge posteriormente (Figura 58), defina se pretende um gráfico vetorial ou bitmap, o tamanho do gráfico e o número de estados. Por fim, atribua um nome e selecione *OK*;

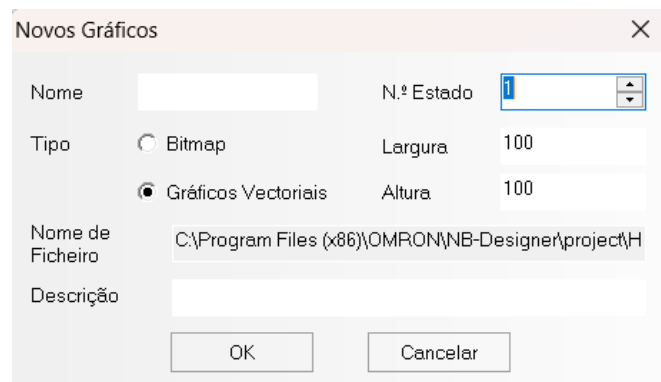


Figura 58 – Características do novo gráfico

- 3) Carregue a imagem para cada estado, conforme ilustrado na Figura 59;

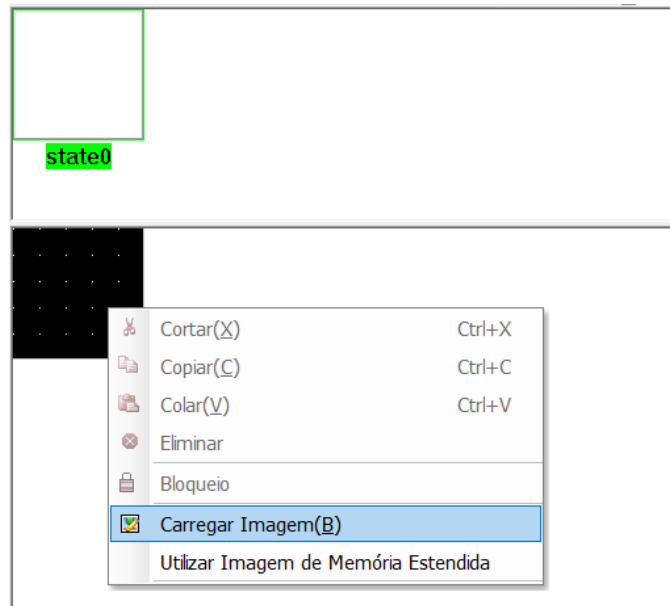


Figura 59 - Carregar imagem

4) Volte a abrir a janela onde pretende inserir o gráfico. O gráfico criado aparecerá no menu **Gráfico** de qualquer peça.

- **Definições de controlo:** neste menu (Figura 60) são definidas as condições de controlo do componente, como a ativação do componente, que pode ter três estados:
 - sempre ativo – o componente pode ser sempre acionado;
 - sempre desativo – caso contrário a estar sempre ativo;
 - ativação condicional – o componente só pode ser ativo se a condição definida for verdadeira.

e as condições de segurança, que são:

- tempo mínimo de pressão – esta condição pode ser útil para garantir que o componente não é acionado sem querer;
- intervalo de tempo mínimo – esta condição garante o componente só é ativo de x em x tempo.

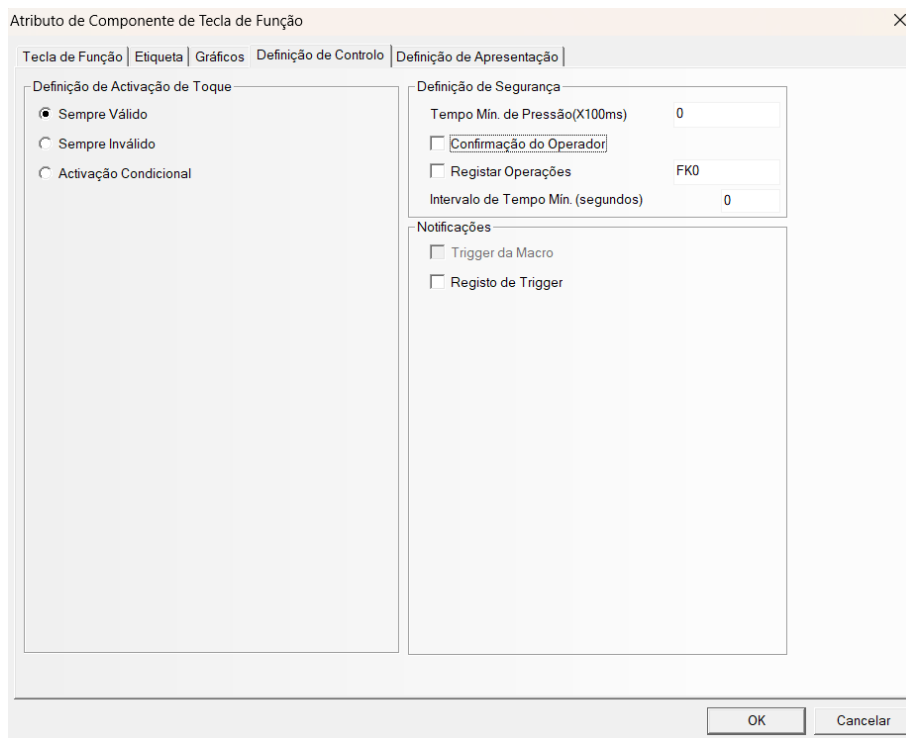


Figura 60 – Definições de controlo

- **Definição de apresentação** (Figura 61): onde pode definir o tamanho e posição do componente, bem como definir condições de apresentação:
 - Apresentar sempre – o componente é apresentado sempre;
 - Nunca apresentar – o contrário de apresentar sempre;
 - Apresentação condicional - o componente só é apresentado se a condição definida for verdadeira.

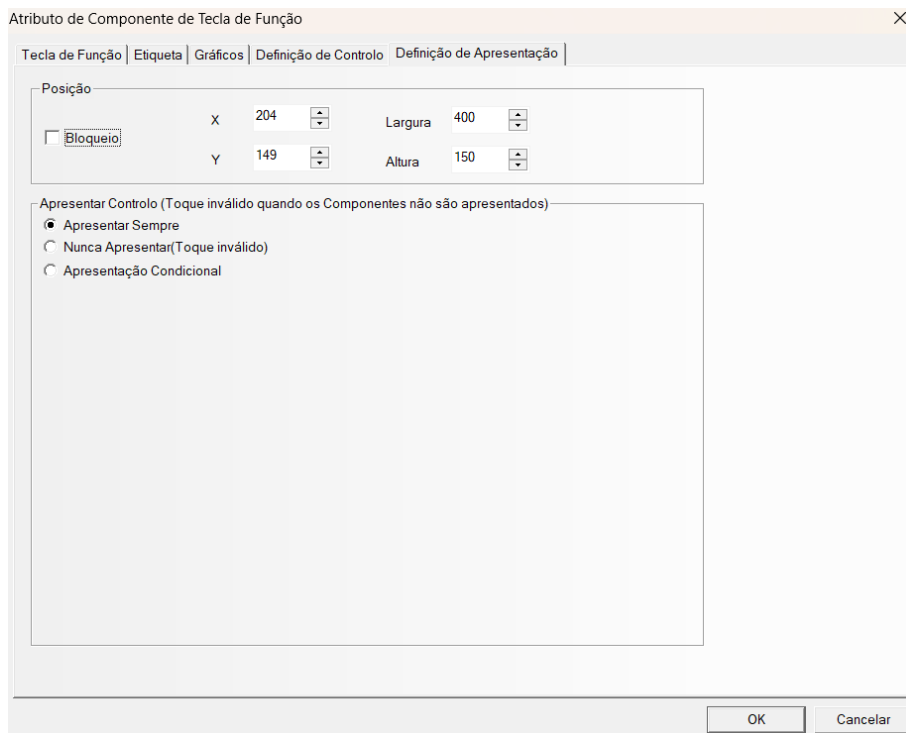


Figura 61 - Definição de apresentação

1.4.4. Download do programa

Para inserir o programa na HMI siga os passos a seguir indicados:

- 1) Selecione a opção *Modo de Download* no menu **Ferramentas** (Figura 62);

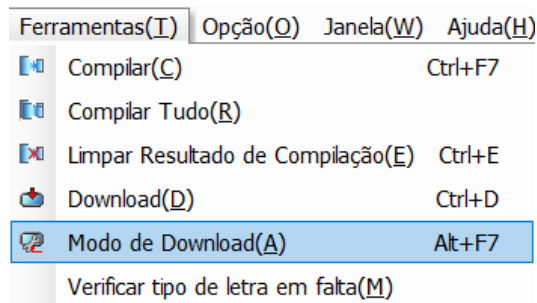


Figura 62 - Modo de Download

- 2) Defina o modo de comunicação, o endereço IP da HMI e a porta (estes parâmetros têm de estar de acordo com o que definiu no ponto 3) do subcapítulo 1.4.2) (ver Figura 63);

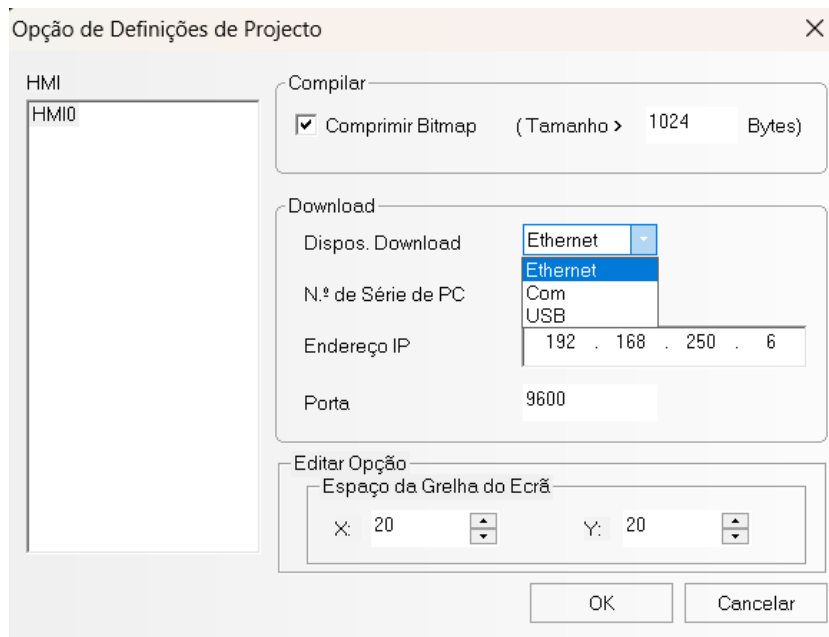


Figura 63 - Definição dos parâmetros de comunicação da HMI

3) Verifique as configurações da HMI:

- I. Ligue o equipamento no modo *System Setting Mode*. A mudança para este modo é feita através de um seletor localizado na parte traseira da HMI, conforme representado na Figura 64;

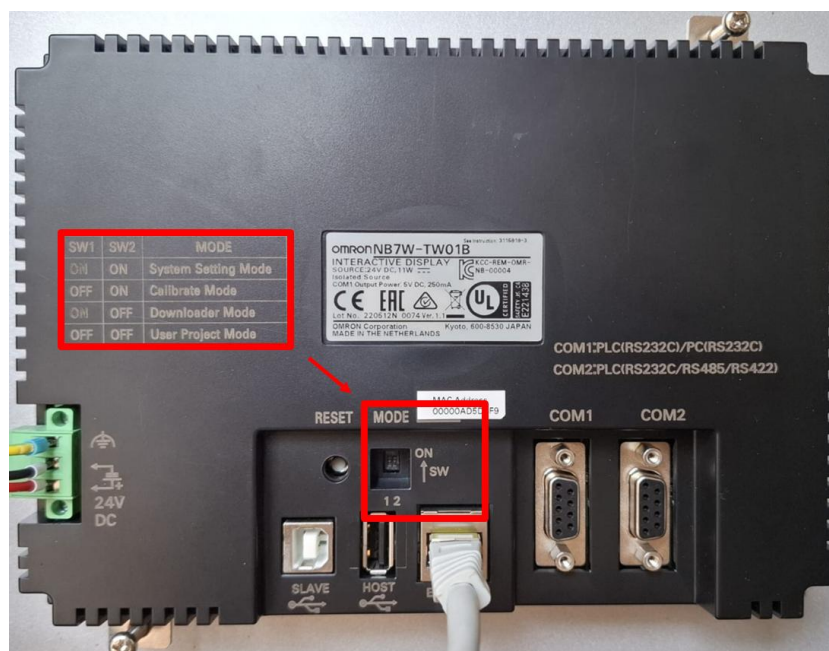


Figura 64 - System Setting Mode

- II. Verifique se os parâmetros de comunicação coincidem com os que definiu no *NB-Designer*. Caso não coincidam altere-os;



Figura 65 – NB7W-TW01B SETUP

- III. Defina a janela que pretende que seja exibida ao ligar a HMI, configurando o campo “Start Window No.” com o número da moldura correspondente.
- 4) Verifique o endereço IP do PLC no Sysmac Studio:
 - I. Abra o projeto onde o PLC que pretende comunicar com a HMI está configurado;
 - II. No menu **Configurations and Setup**, selecione (com duplo clique no botão esquerdo do rato) *Controller Setup -> Built-In Ethernet/IP Port Settings* (ver Figura 66);

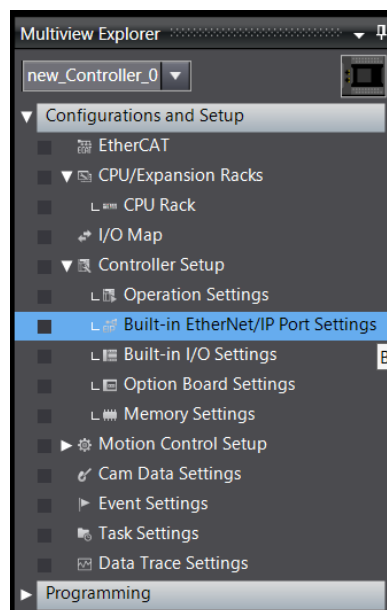


Figura 66 – Configuração do Endereço IP no Sysmac Studio

- III. Verifique se o Endereço IP está configurado conforme o definido no *NB-designer*, como apresentado na Figura 67. Caso contrário, realize os ajustes necessários. É importante que também a Máscara de sub-rede seja igual à definida nas configurações da interface.

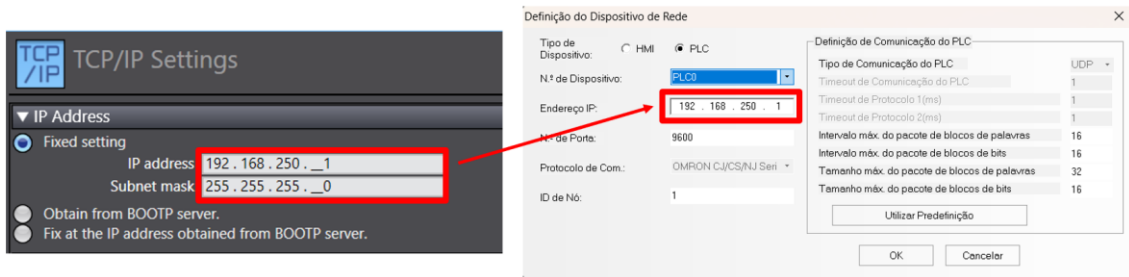


Figura 67 – Verificação do Endereço IP do PLC

5) Selecione *Download* no menu **Ferramentas** (ver Figura 68);

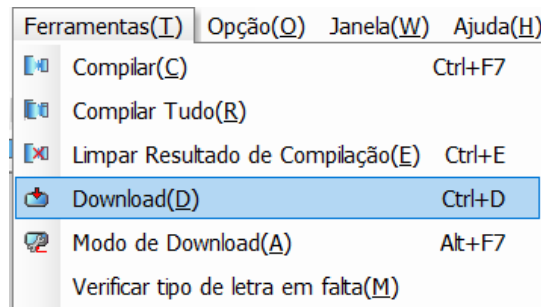


Figura 68 – Download

6) Verifique se os dados da interface estão corretos e carregue no botão *Download* (ver Figura 69);

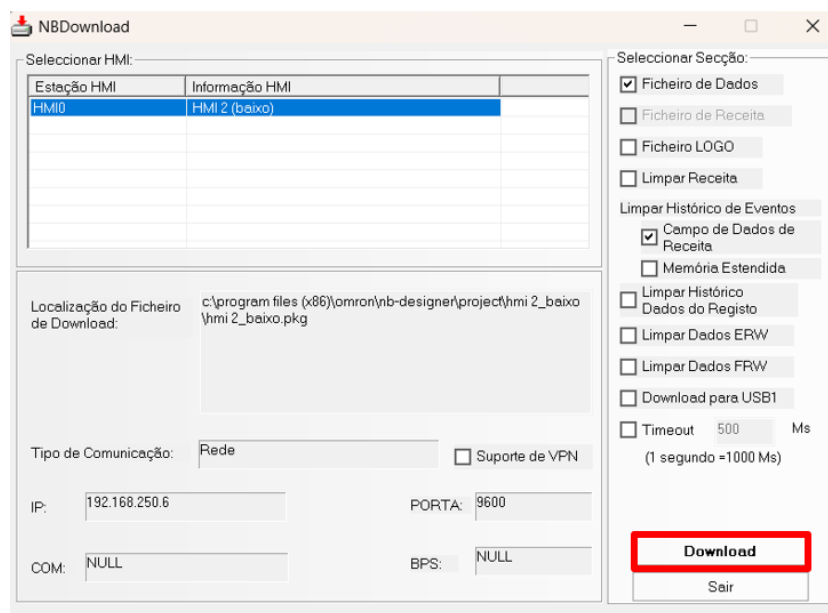


Figura 69 – Download do projeto

I. Após clicar em *Download*, aguarde até que o projeto seja totalmente transferido e, no final do processo, selecione *OK* na janela que for apresentada.

É fundamental compilar o projeto antes de realizar o download, sempre que for transferi-lo para o equipamento. Para tal, basta selecionar o ícone destacado a vermelho Figura 70.



Figura 70 - Compilar o projeto

1.5. Exercício resolvido

Para tornar os conceitos mais fáceis de entender, será apresentada a resolução detalhada de um exercício simples, tanto em Grafcet como em Ladder. Além disso, será mostrado, passo a passo, como fazer a simulação do exercício na bancada e como foi feita a programação da HMI. Estes passos podem ser usados como guia para resolver qualquer exercício.

O objetivo do exercício é ativar as saídas digitais (LEDs) durante três segundos sempre que os botões (entradas digitais) das cores correspondentes forem pressionados. Adicionalmente, pretende-se que um contador seja incrementado cada vez que o botão amarelo for acionado.

1.5.1. Grafcet

A Figura 71 mostra os Grafcets desenvolvidos para este exercício em *CADe SIMU*. No primeiro diagrama, que vai da etapa 1 à etapa 4, são representadas as ações que ocorrem quando os botões verde (BVD), vermelho (BVM) e azul (BAZ) são pressionados, utilizando uma divergência e convergência do tipo OU. A etapa 1 é a etapa inicial. Quando esta etapa está ativa e algum dos botões é pressionado, o LED correspondente é ligado e um temporizador é iniciado. Após três segundos com o LED aceso a etapa 1 é reativada, desligando-se o LED.

O segundo Grafcet, que abrange da etapa 11 à etapa 13, refere-se ao funcionamento do botão amarelo (BAM). Como se pretende contabilizar quantas vezes esse botão é pressionado, o contador é inicializado com zero ($C=0$) na etapa 11, que representa o estado inicial. Cada vez que o botão amarelo é acionado, o LED amarelo (LAM) acende-se, um temporizador é ativado por três segundos e o contador é incrementado numa unidade ($C=C+1$). A contagem é reiniciada apenas quando o sistema retorna à etapa 11.

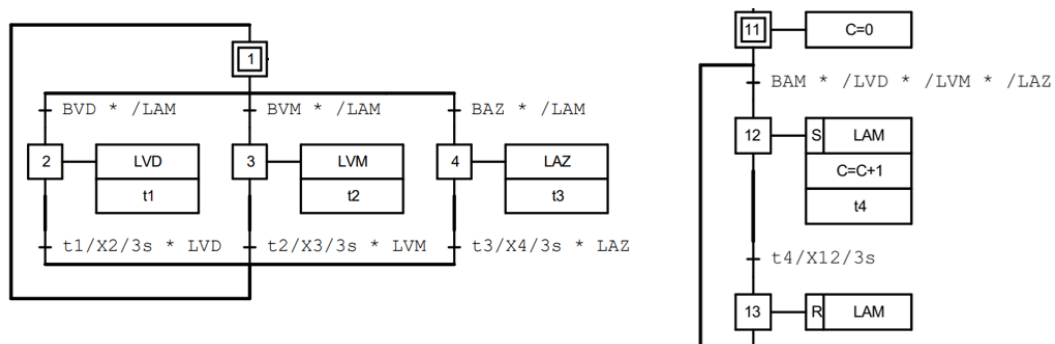


Figura 71 - Grafcet do exercício ilustrativo

É importante mencionar que as letras S e R são utilizadas para realizar, respetivamente, a ativação (Set) e a desativação (Reset) das ações, permitindo que estas permaneçam ativas até que seja emitido um comando contrário. Quando essas letras não são utilizadas, a ação mantém-se ativa apenas enquanto a condição seguinte não é verificada como verdadeira, tal como

acontece no primeiro Grafcet. Neste caso, a eliminação do “S” e “R” no grafcet da direita não provoca alterações ao funcionamento do Grafcet.

O exercício foi resolvido de forma a garantir que apenas um LED esteja aceso de cada vez, ou seja, impedindo que dois ou mais LEDs fiquem ligados em simultâneo.

1.5.2. Ladder

A conversão do Grafcet para Ladder pode ser dividida em duas partes: a primeira responsável por identificar o caminho percorrido pelas etapas e a segunda por apresentar as ações associadas a cada etapa.

A Figura 72 ilustra a primeira secção do Ladder, correspondente ao primeiro Grafcet, enquanto a Figura 73 mostra a segunda secção do Ladder, também relacionada com esse Grafcet.

De notar que as variáveis criadas para associar à interface foram implementadas no ladder, em paralelo com as variáveis associadas aos componentes físicos, ou guardadas nas áreas de memória através de blocos de função *MOVE*.

O botão vermelho é normalmente fechado (NF), pelo que é necessário representar o sinal negado em Ladder para que corresponda ao seu acionamento físico.

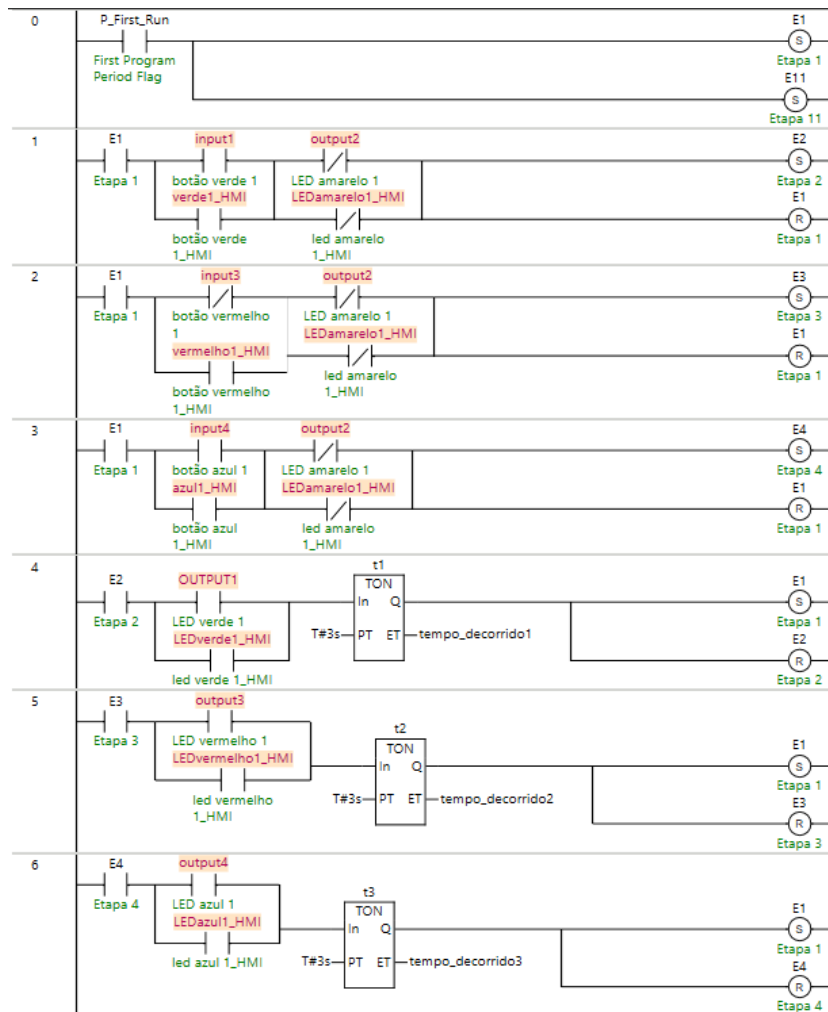


Figura 72 – Caminho percorrido pelas etapas da etapa 1 à etapa 4

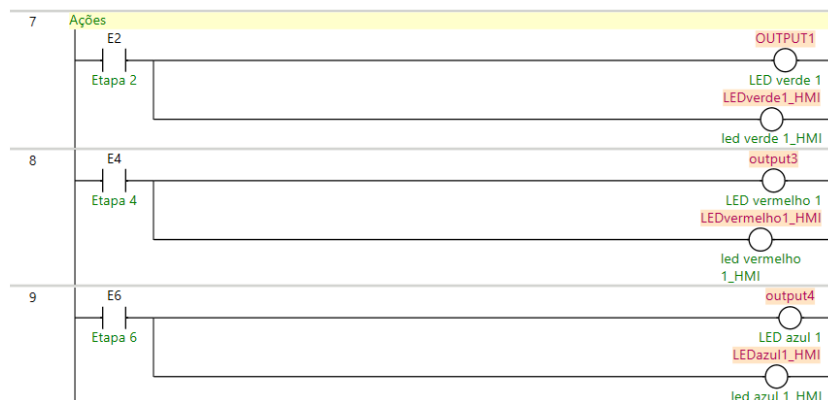


Figura 73 – Apresentação das ações associadas às etapas 2 a 7

Nas figuras, Figura 72 e Figura 73, é importante observar que as variáveis a vermelho correspondem às variáveis globais, enquanto as a preto correspondem às variáveis locais. As letras S e R indicam, respetivamente, o comando de Set e Reset das saídas. O símbolo “/” é utilizado para inverter o sinal, sendo utilizado, por exemplo, nas condições das linhas 1, 2 e 3 para representar a negação do sinal do LEDs amarelo.

Na linha 7, vê-se uma linha de texto amarela que serve unicamente como comentário. Para adicionar comentários em qualquer linha do código basta dar um duplo clique com o botão esquerdo do rato sobre o número da linha correspondente.

A Figura 74 apresenta o diagrama Ladder relativo ao acionamento do botão amarelo.

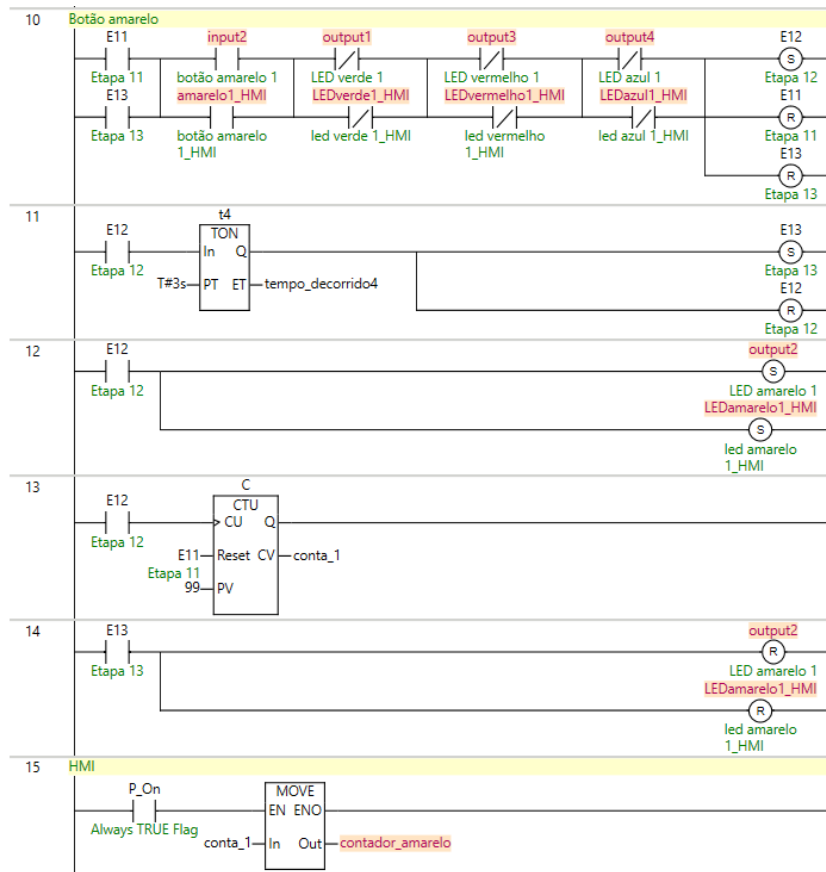


Figura 74 – Ladder associado ao acionamento do botão amarelo

A contagem do tempo em que ficam ativos os LEDs foi realizada através de um temporizadores do tipo **TON**, que contam desde 0 até ao valor estabelecido em *PT*. Quando atinge esse tempo, o temporizador ativa a saída com um sinal TRUE. Neste tipo de temporizadores, a condição que dá início à contagem do tempo é ligada à entrada *IN*, enquanto a saída que deve ser ativada quando o temporizador atinge o tempo definido é ligada à saída *Q*. O tempo decorrido em tempo real é apresentado na variável *ET*.

Para contar o número de vezes que o botão amarelo é acionado, recorreu-se a um contador do tipo **CTU**, que incrementa o valor do contador⁴ sempre que recebe um sinal na entrada. A condição que desencadeia a contagem é ligada à entrada *CU*, enquanto a condição que reinicia o contador é ligada à entrada *Reset*. O valor atual da contagem é apresentado na variável *CV*. Quando o valor definido em *PV* é atingido, a saída *Q* é ativada, podendo ser utilizada para comandar outras saídas.

Foi utilizada, na linha 0, a condição de **P_FirstRun** para ativar a etapa 1 e a etapa 11, garantindo que o programa se inicia sempre com as etapas iniciais (etapa 1 e etapa 11) ativas.

⁴ O valor definido e o valor do contador devem ser valores inteiros.

A linha 15 assegura que o valor da variável 'conta_1' é continuamente atribuído à variável 'contador_amarelo', que será utilizada na programação da interface.

1.5.2.1. Simulação na bancada

Para fazer a simulação dos exercícios na bancada deve seguir os passos a seguir indicados:

- 1) Compile o programa (seguir os passos 1, 2 e 3 do subcapítulo 1.3.4);
- 2) No menu **Controller** selecione a opção *Communications Setup*, como ilustrado na Figura 75;

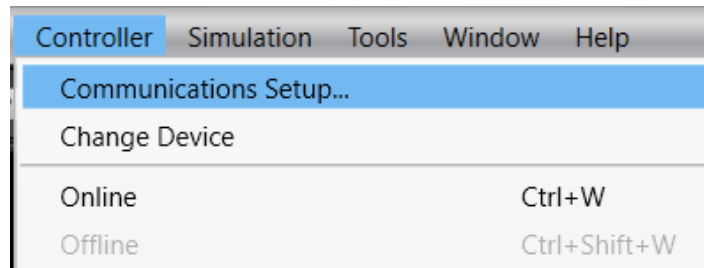


Figura 75 – “Communications Setup”

- 3) Selecione o modo de comunicação entre o PC e o PLC, indique o IP do PLC e teste a comunicação. Quando o resultado for “Test OK” carregar em *OK*. Os passos estão ilustrados na Figura 76;

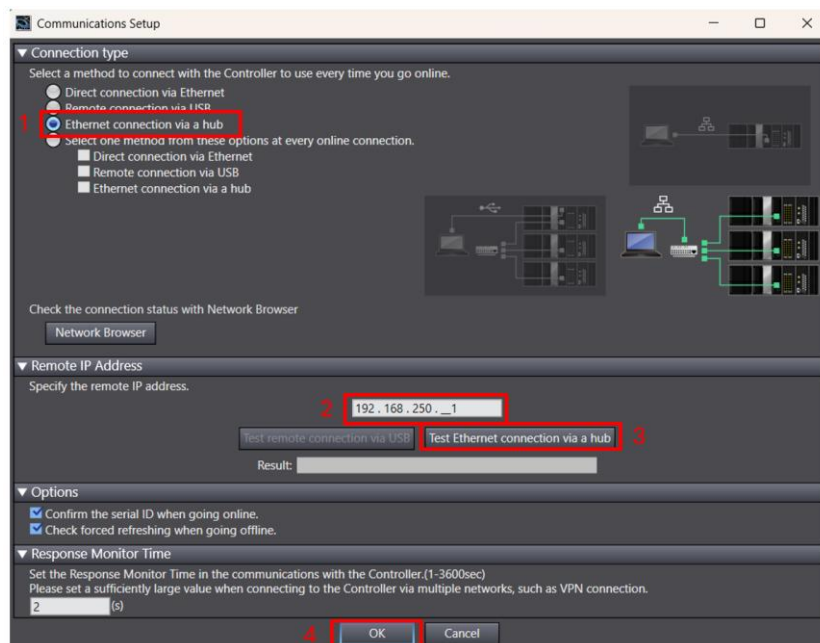


Figura 76 – Configurar a comunicação

- 4) Coloque o programa em modo online, selecionando a opção *Online* do menu **Controller** ou carregando no ícone, destacado a vermelho, apresentado na Figura 77;

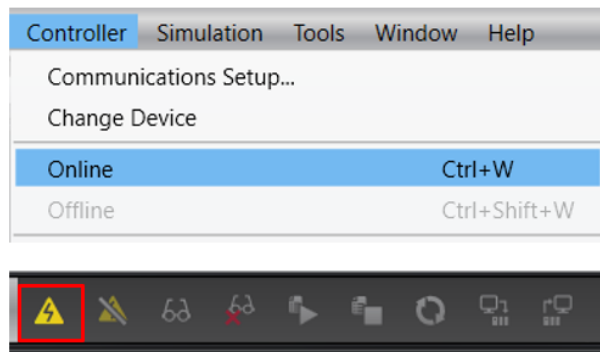


Figura 77 – Modo online

- 5) Faça a sincronização, selecionando o ícone, destacado a vermelho, apresentado na Figura 78;



Figura 78 - Sincronizar

- 6) Transferira o pograma para o PLC, selecionando a opção *Transfer to control*, conforme ilustrado na Figura 79;

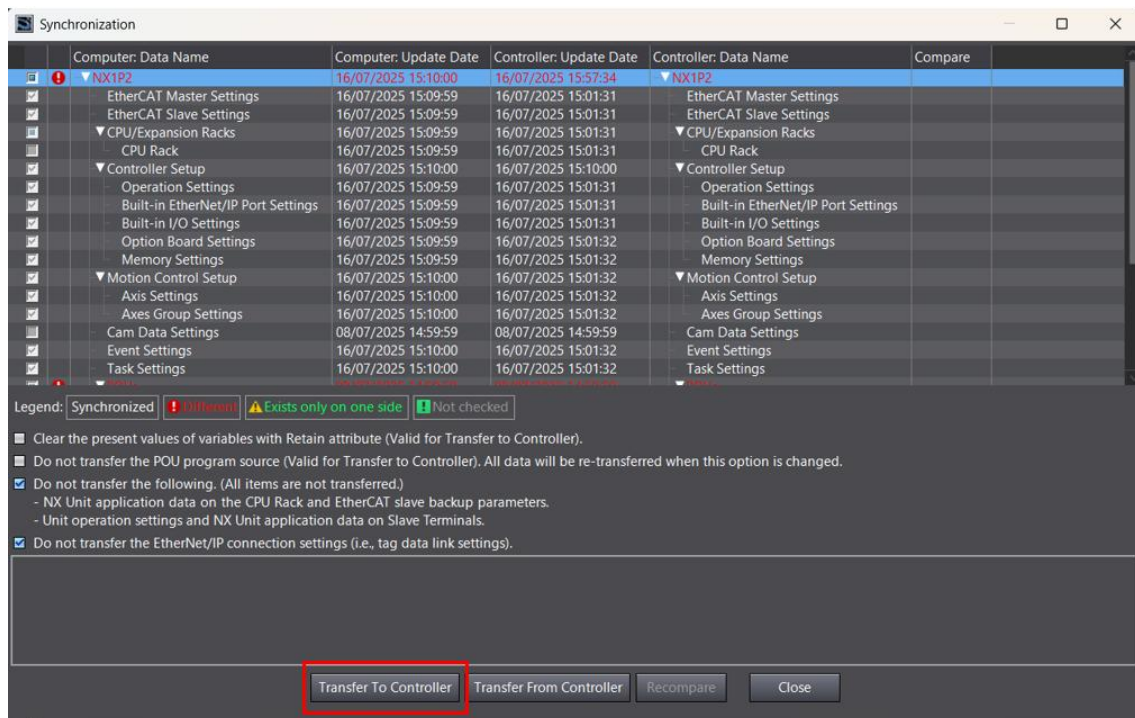


Figura 79 – Transferir o programa para o PLC

- 7) Selecione *Sim* nas pop-ups que aparecem e aguarde que a sincronização seja concluída;
- 8) Coloque o programa em "RUN mode", selecionando a opção *RUN Mode* no menu **Controller** ou carregando no ícone, destacado a vermelho, apresentado na Figura 80.

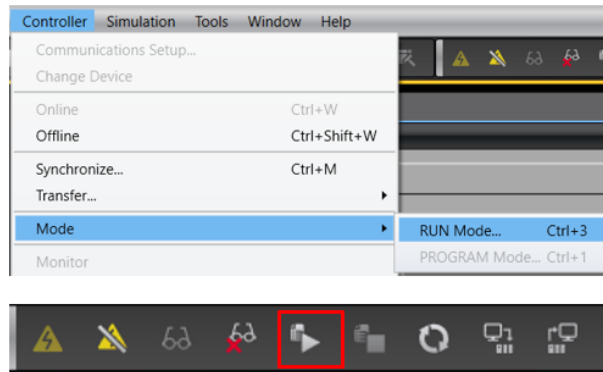


Figura 80 – RUN Mode

É importante referir que estes passos devem ser realizados sempre que é feita uma alteração no exercício ou sempre que se pretende testar outro exercício.

Para sair do modo “RUN” e do modo online deve seguir os seguintes passos:

- 1) Selecione o ícone destacado a vermelho, ilustrado na Figura 81 , para sair do modo “RUN”;



Figura 81 – Sair do “RUN mode”

- 2) Selecione a opção *Offline* do menu **Controller** ou carregue no ícone destacado a vermelho, ilustrado na Figura 82.

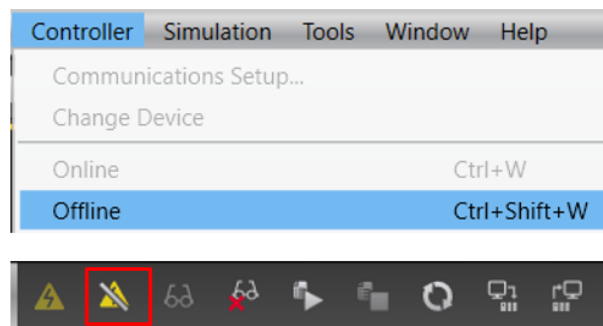


Figura 82 – Sair do modo Online

1.5.3. HMI

Para a programação deste exercício foram criadas três novas janelas: Ecrã inicial (10), Ecrã de exercícios (11) e Exercício exemplo (12), seguindo os passos do subcapítulo 1.4.3, representados pela Figura 51 e pela Figura 52.

Em todas as janelas, o fundo foi alterado para branco. Nas janelas 11 e 12, foi adicionada uma barra no topo, com uma caixa de texto.

Para adicionar uma caixa de texto basta selecionar o ícone, destacada a vermelho, da Figura 83. No Ecrã de Exercícios, a caixa apresenta a mensagem “Escolha o exercício que pretende resolver.”, enquanto na janela do Exercício Exemplo exibe o nome da mesma.



Figura 83 - Inserir caixa de texto

A seguir, serão apresentados os componentes adicionados em cada janela.

1.5.3.1. Ecrã inicial

Neste ecrã, foram adicionados dois componentes, 'Tecla de Função' ao centro e 'Data/Hora' no canto inferior direito. No caso, a tecla de função foi usada para mudar de janela quando seleccionada.

Para adicionar a tecla de função, seleccione o menu **Peças de funcionamento** e arraste o componente 'Tecla de Função' para a moldura. Quando arrastado, surge uma caixa, como a apresentada na Figura 84.

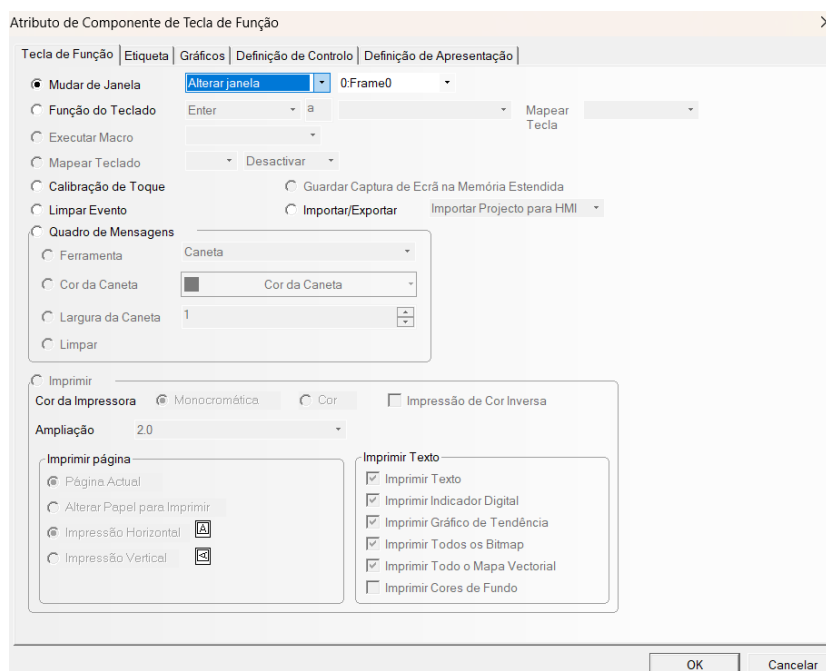


Figura 84 –Tecla de Função

Ao seleccionar esta tecla, pretende-se que ocorra a mudança para a janela Ecrã de Exercícios. Para que isso aconteça, deve manter-se ativa a opção *Mudar de Janela*, assim como a opção *Alternar Janela*, e seleccionar a janela "11: Ecrã de Exercícios", conforme ilustrado na Figura 85.

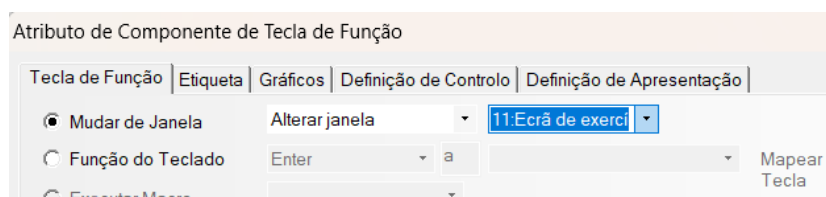


Figura 85 - Seleccionar a janela para a qual se pretende mudar

Na Figura 86 vê-se os parâmetros definidos para a apresentação da data e da hora. No menu **Tipo de Letra** foi definido o tipo de letra, o tamanho e a cor da mesma.

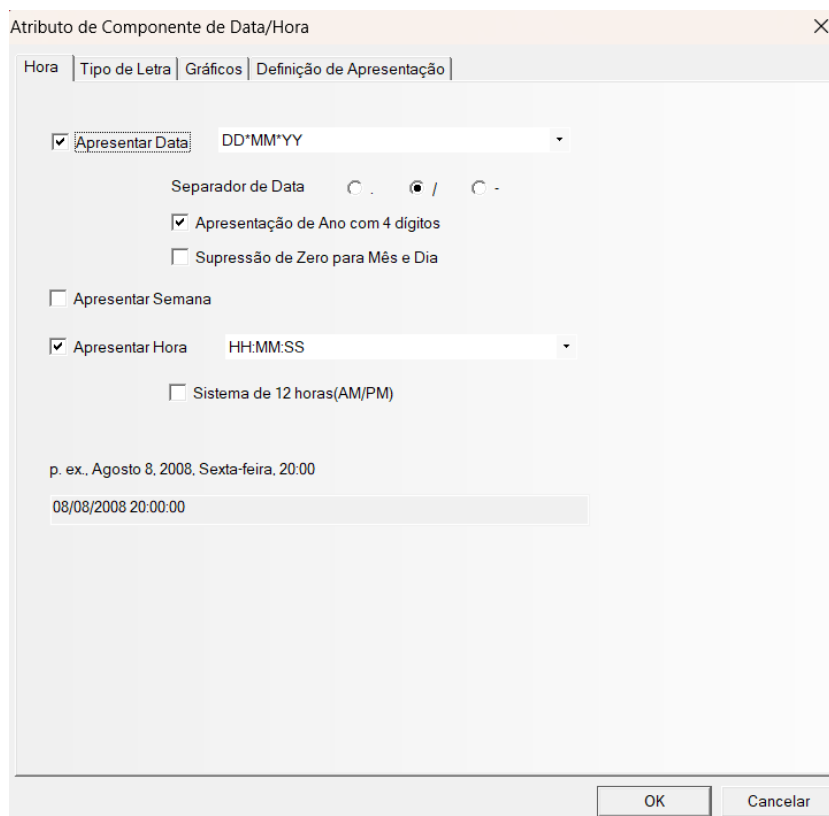


Figura 86 - Data/Hora

A Figura 87 mostra o Ecrã inicial, onde se pode ver, também, o nome e aparência atribuídos ao componente 'Tecla de Função'.



Figura 87 - Ecrã inicial

1.5.3.2. Ecrã de exercícios

Nesta janela, foram igualmente adicionados os componentes 'Tecla de função' e 'Data/Hora'. Ao invés de os arrastar novamente, foram copiados a partir da janela Ecrã de Início. O componente 'Data/Hora' manteve-se igual, enquanto o componente 'Tecla de Função' foi editado. Alterou-

se a janela para a qual se pretende mudar para “12: Exercício exemplo” e o conteúdo da etiqueta para “Exercício exemplo”.

Para além disso, foi adicionada uma tecla de função, representada pelo gráfico vetorial “CLOSEE001.vg”, ilustrado na Figura 88. Quando selecionado este componente, pretende-se mudar de janela de volta para a janela Ecrã inicial.



Figura 88 - Gráfico utilizado para fechar a janela

A Figura 89 mostra a janela Ecrã de exercícios.

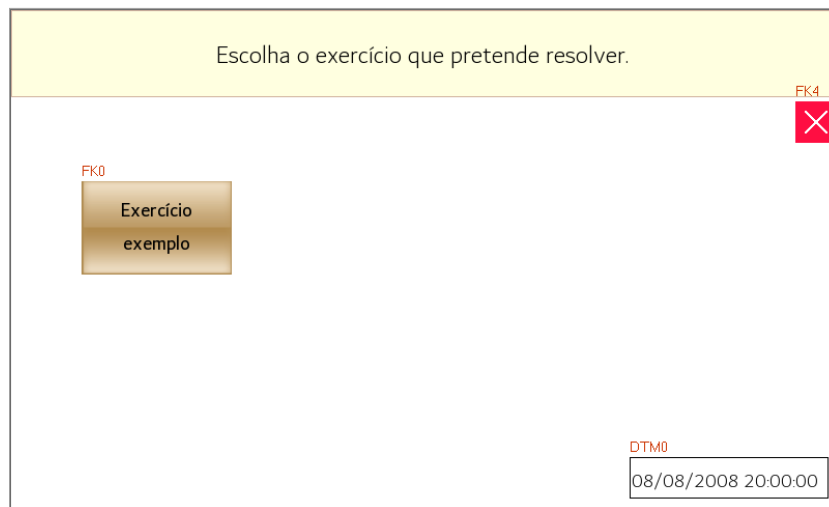


Figura 89 - Ecrã de exercícios

1.5.3.3. Exercício exemplo

Nesta janela foram colocados quatro botões, quatro LEDs e um contador.

Cada botão está associado ao componente ‘Definição de Estado de Bits’, enquanto cada LED corresponde ao componente ‘Luz de Estado de Bits’, ambos disponíveis no menu **Peças de PLC**. Nas configurações desses componentes, o menu **Atributos Básicos** permite associar os endereços criados no *Sysmac Studio*. As variáveis dos botões são associadas a endereços de escrita (Figura 90) e as variáveis dos LEDs a endereços de leitura (Figura 91).

Atributo de Componente de Definição de Estado de Bits

Atributos Básicos | Definição de Estado de Bits | Etiqueta | Gráficos | Definição de Controle | Definição de Apresentação

Prioridade Normal

Endereço de Leitura

HMI HMI0 N.º PLC 0

Porta Net

Alterar N.º Estação 1

Tipo de Endereço LB

Endereço 0 Registo do Sistema

Código Tipo BIN Comprimento de Palavra 1

Utilizar Etiqueta de Endereço

Utilizar o registo do índice

Endereço de Escrita

HMI HMI0 N.º PLC 0

Porta Net

Alterar N.º Estação 1

Tipo de Endereço W_bit

Endereço 0.00 Registo do Sistema

Código Tipo BIN Comprimento de Palavra 1

Formato (Intervalo):DDD.DD (0.00-511.15)

Utilizar Etiqueta de Endereço

Utilizar o registo do índice

Descrição Botão verde 1

OK Cancelar

Figura 90 - Definição de Estado de Bits – Atributos Básicos

Atributo de Componente de Luz de Estado de Bits

Atributos Básicos | Lâmpada Estado de Bits | Etiqueta | Gráficos | Definição de Apresentação

Prioridade Normal

Endereço de Leitura

HMI HMI0 N.º PLC 0

Porta Net

Alterar N.º Estação 1

Tipo de Endereço W_bit

Endereço 100.00 Registo do Sistema

Código Tipo BIN Comprimento de Palavra 1

Formato (Intervalo):DDD.DD (0.00-511.15)

Utilizar Etiqueta de Endereço

Utilizar o registo do índice

Endereço de Escrita

HMI HMI0 N.º PLC 0

Porta Net

Alterar N.º Estação 1

Tipo de Endereço LB

Endereço 0 Registo do Sistema

Código Tipo BIN Comprimento de Palavra 1

Utilizar Etiqueta de Endereço

Utilizar o registo do índice

Descrição

OK Cancelar

Figura 91 - Luz de Estado de Bits - Atributos Básicos

Para além de garantir que os endereços estão corretamente associados, é, também, essencial verificar se o PLC selecionado é o correto, de forma a assegurar a comunicação com o Sysmac Studio.

Nos menus **Definição de Estado de Bits** e **Lâmpada de estado de Bits**, foram definidos os estados dos botões e dos LEDs, conforme representado na Figura 92

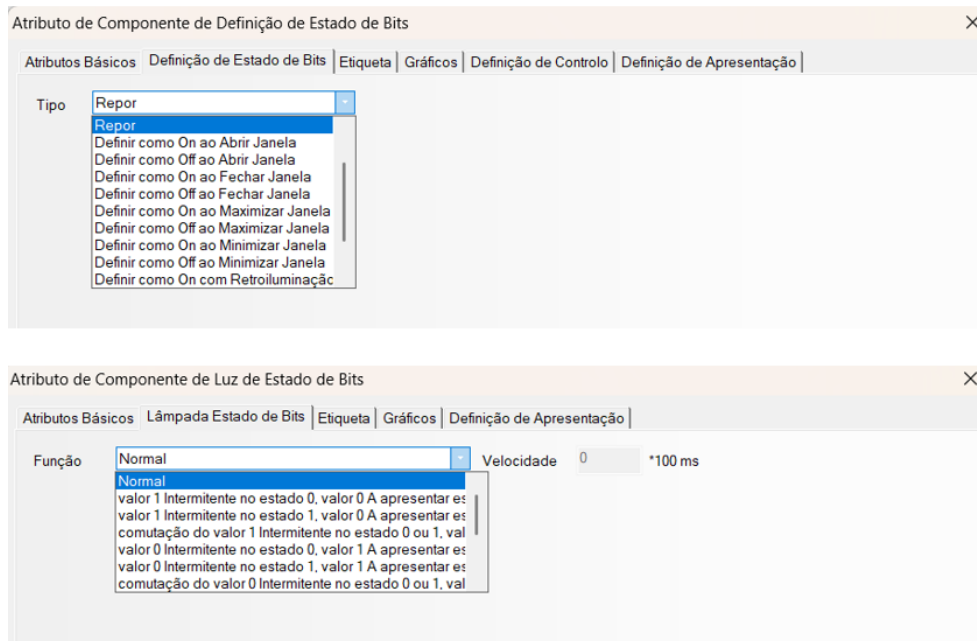


Figura 92 - Estados de Bits

Os gráficos utilizados foram selecionados entre os disponibilizados pelo NB-Designer, conforme o pretendido.

A 'Tecla de função', representada na Figura 88, também foi copiada para a janela Exercício exemplo, tendo sido editada de forma que, ao ser selecionada, volte a apresentar o Ecrã de exercícios.

Para programar o contador foi adicionado à janela o componente 'Apresentação de Números', que se encontra no menu **Peças de PLC**. O contador é representado pelo gráfico vetorial "DISP_BAR005.vg" e a sua variável foi associada a um endereço de leitura no menu **Atributos Básicos**, conforme ilustrado na Figura 93.

Atributo de Componente de Apresentação de Números

Atributos Básicos | **Dados Numéricos** | Tipo de Letra | Gráficos | Definição de Apresentação

Prioridade Normal

Endereço de Leitura

HMI HMI0 N.º PLC 0

Porta Net

Alterar N.º Estação 1

Tipo de Endereço W

Endereço 50 Registo do Sistema

Código Tipo BCD Comprimento de Palavra 1

Formato (Intervalo):DDD (0-511)

Utilizar Etiqueta de Endereço

Utilizar o registo do índice

Endereço de Escrita

HMI HMI0 N.º PLC 0

Porta Net

Alterar N.º Estação 1

Tipo de Endereço LW

Endereço 0 Registo do Sistema

Código Tipo BIN Comprimento de Palavra 1

Utilizar Etiqueta de Endereço

Utilizar o registo do índice

Descrição

OK Cancelar

Figura 93 – Endereço de leitura – Contador

No menu **Dados Numéricos**, foram definidos o número de dígitos inteiros e decimais a apresentar, assim como os valores mínimo e máximo permitidos (ver Figura 94). Já no menu **Tipo de Letra** foi especificado o tipo, o tamanho e a cor da fonte dos dígitos exibidos.

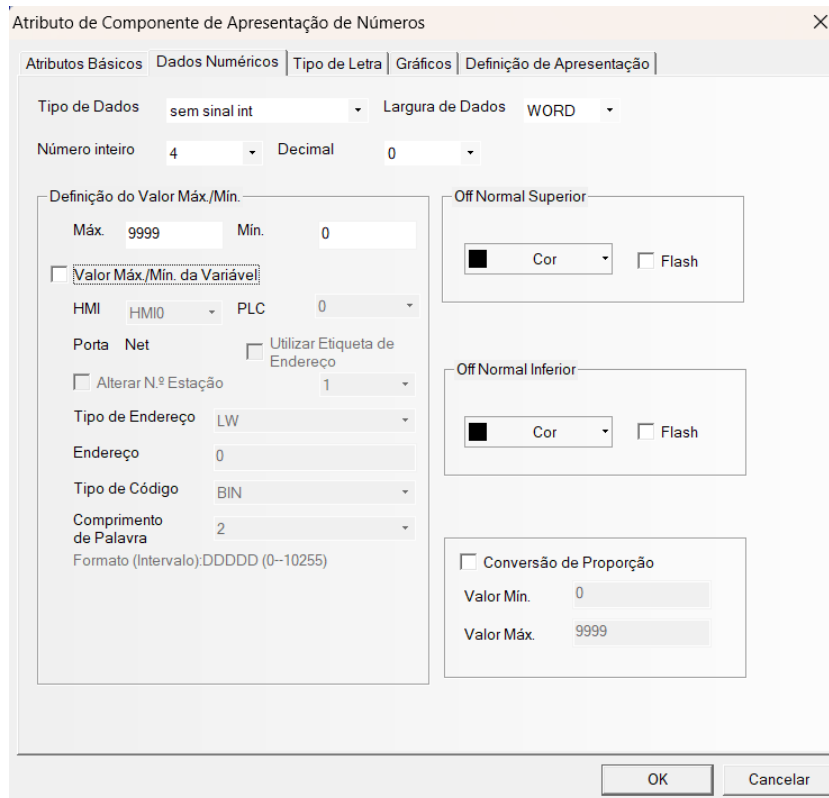


Figura 94 – Configuração dos dados numéricos

A Figura 95 mostra a janela Exercício exemplo.



Figura 95 - Exercício exemplo (HMI)

1.6. Exercício 1 – “Controlo de tráfego” (PLC1)

Implementar um sistema de controlo de tráfego em duas ruas perpendiculares A e B, como as representadas na Figura 96. Este exercício tem como objetivo facilitar o desenvolvimento de competências relacionadas com o uso de temporizadores e LEDs. Foi adaptado do exercício 2.10 dos “Trabalhos Práticos – Automação” [2].

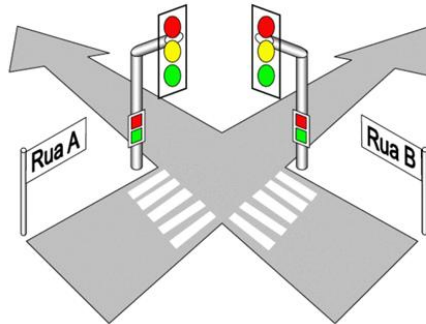


Figura 96 – Figura ilustrativa das ruas A e B [2]

Regras de funcionamento:

- As luzes que regulam o tráfego da rua A e da rua B devem ser controladas de forma sincronizada, mas com estados opostos;
- A luz vermelha (LVM) deve estar ativa durante 12s;
- A luz verde (LVD) deve estar ativa durante 8s;
- A luz amarela (LAM) deve estar ativa durante 4s;
- Tente utilizar no máximo 4 temporizadores.

A Tabela 1 apresenta um quadro resumo das saídas definidas.

Tabela 1 – Definição das saídas (exercício 1)

LVM	Luz Vermelha
LVD	Luz Verde
LAM	Luz Amarela

1.7. Exercício 2 – “Acionamento e paragem de um motor” (PLC3)

Desenvolver um sistema que simule o funcionamento de um motor. Este exercício visa promover a aprendizagem aplicada de LEDs, botões e de utilização de um motor. Foi adaptado do exercício 1 da “Sebenta de exercícios de AUTCI” [3].

Regras de funcionamento:

- Quando o utilizador carrega no botão ON (ON), o motor é acionado;
- O motor mantém-se acionado até ordem de paragem pelo botão OFF (OFF);
- O LED branco (LBR) fica ativo sempre que o motor está acionado.

A Tabela 2 – Definição das entradas e saídas (exercício 2) Tabela 2 apresenta um quadro resumo das entradas e saídas definidas.

Tabela 2 – Definição das entradas e saídas (exercício 2)

ON	Botão ON
OFF	Botão OFF
LBR	LED Branco

1.8. Exercício 3 - “Detetor de metais” (PLC3)

Este exercício tem como fim simular um detetor de metais, apoiando, assim, a aprendizagem prática envolvendo LEDs e sensores indutivos.

Regras de funcionamento:

- Enquanto o sensor indutivo (SI) (input6) não detetar a presença de metal, o LED verde (LVD) permanece ligado;
- Ao identificar a presença de metal, o LED verde apaga-se e é ativado um LED vermelho (LVM), que pisca intermitentemente enquanto durar a deteção;
- Quando o sensor deixa de detetar metal, o LED vermelho apaga-se e o LED verde volta a acender.

A Tabela 3 apresenta um quadro resumo das entradas e saídas definidas.

Tabela 3 – Definição das entradas e saídas (exercício 3)

SI	Sensor Indutivo
LVD	LED Verde
LVM	LED Vermelho

1.9. Exercício 4 – “Parque de estacionamento” (PLC1)

Este exercício tem como objetivo apoiar a aprendizagem prática envolvendo contadores, LEDs, botões, sensores fotoelétricos e temporizadores. Foi adaptado do exercício 3.7 dos “Trabalhos Práticos – Automação” [2].

1.9.1. Exercício 4.1 - “Controlo de entradas e saídas” (PLC1)

Desenvolva um sistema para controlar o acesso de entrada e saída de veículos do parque de estacionamento com capacidade máxima de 5 automóveis, como representado na Figura 97.

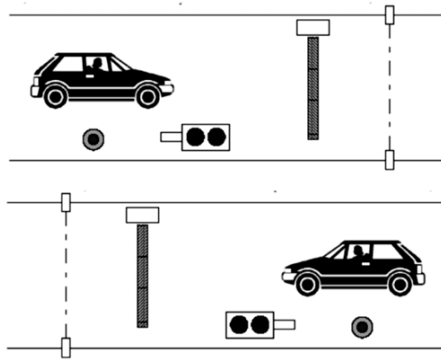


Figura 97 - Representação da entrada e saída do parque de estacionamento [2]

Regras de funcionamento:

- Quando em repouso, a cancela deve estar em baixo e a luz verde de entrada (LVD_E) acesa, que indica que é permitida a entrada no parque;
- Quando o condutor do carro pressiona o botão de entrada (BE), a luz verde da entrada apaga-se e acende-se a luz vermelha de entrada (LVM_E), que significa que está um carro a entrar. A cancela abre-se (ACE – abrir cancela de entrada);
- Após a passagem do carro pela cancela, o sinal do sensor fotoelétrico (SE) (input10) é momentaneamente interrompido. Quando o veículo ultrapassa completamente o sensor, o sinal é restabelecido, o que aciona o fecho da cancela de entrada (FCE) e faz com que a luz verde se acenda novamente;
- A posição de cancela aberta é indicada por CEA (cancela de entrada aberta) e CEF (cancela de entrada fechada);
- Considere que as cancelas de entrada e de saída demoram 5 segundos a abrir;
- A saída é prioritária em relação à entrada;
- Quando uma cancela estiver aberta (entrada ou saída) a outra não abre;
- Se o parque estiver vazio a cancela de saída não abre.
- Se o parque estiver cheio a luz verde de entrada desliga-se, passando a estar ativa a luz vermelha de entrada, que indica que não é permitida nenhuma entrada no parque.

Defina as entradas e saídas não especificadas.

A Tabela 4 apresenta um quadro resumo das entradas e saídas definidas.

Tabela 4 – Definição das entradas e saídas (exercício 4.1)

LVD_E	Luz Verde de Entrada
BE	Botão de entrada
LVM_E	Luz Vermelha de entrada
ACE	Abrir Cancela de Entrada
SE	Sensor fotoelétrico
FCE	Fechar Cancela de Entrada
CEA	Cancela de Entrada Aberta
CEF	Cancela de Entrada Fechada

1.9.2. Exercício 4.2 – “Controlo de vagas de estacionamento” (PLC1)

Crie um sistema de monitorização que simule a ocupação de um lugar de estacionamento.

Regras de funcionamento:

- Quando o lugar de estacionamento está livre o LED verde (LVD) está ativo;
- Assim que um carro interrompe o feixe luminoso da célula fotoelétrica (S1) (instalada no teto no centro do lugar de estacionamento) acende-se o LED vermelho (LVM) e apaga-se o LED verde;
- Quando o carro sai e o feixe luminoso deixa de ser interrompido é acionado um temporizador de 3s;
- Após a contagem do temporizador o sinal luminoso volta a ficar verde, sinalizando que o lugar está novamente livre.

A Tabela 5 apresenta um quadro resumo das entradas e saídas definidas.

Tabela 5 – Definição das entradas e saídas (exercício 4.2)

LVD	LED Verde
S1	Célula fotoelétrica
LVM	LED Vermelho

1.10. Exercício 5 – “Sistema de fecho de um portão” (PLC3)

Criar um sistema capaz de controlar o funcionamento de um portão (abertura e fecho). Este exercício tem como objetivo apoiar a aprendizagem sobre LEDs, botões, motor, sensores capacitivos e temporizadores. Foi adaptado do exercício 2.9 dos “Trabalhos Práticos – Automação” [2].

1.10.1. Alternativa 1 (PLC3)

Nesta alternativa, pretende-se que o movimento do motor seja mantido assim que acionado pelo utilizador. Assim, as operações de abrir e fechar o portão devem ser mantidas até serem completadas, ainda que o utilizador liberte o botão que deu início ao movimento. O movimento do portão pode ser interrompido se o botão PARAR for pressionado.

Regras de funcionamento:

- Quando pressionado o botão ABRIR (OPEN), inicia-se a abertura do portão, caso este não esteja já completamente aberto;
- Quando pressionado o botão FECHAR (CLOSE), inicia-se o fecho do portão, caso este não esteja já completamente fechado;
- Quando pressionado o botão PARAR (STOP), o movimento do portão cessa imediatamente e permanece assim mesmo depois do botão deixar de ser pressionado;
- Se o portão estiver completamente aberto (PCA), ao pressionar o botão ABRIR o motor não deve ser acionado;
- Se o portão estiver completamente fechado (PCF), ao pressionar o botão FECHAR o motor não deve ser acionado;
- Em momento algum os dois circuitos do motor podem ser acionados em simultâneo;
- Quando o portão fica completamente aberto acende-se o LED verde (LVD) durante 3 segundos, que se mantêm intermitente durante o movimento de abertura do portão;
- Quando o portão fica completamente fechado acende-se o LED vermelho (LVM) durante 3 segundos, que se mantêm intermitente durante o movimento de fecho do portão;
- Sempre que é acionado o botão PARAR (STOP), o movimento do portão é interrompido e acende-se um LED amarelo (LAM) que fica ativo durante 3 segundos.

Defina as entradas e saídas não especificadas.

A Tabela 6 apresenta um quadro resumo das entradas e saídas definidas.

Tabela 6 – Definição das entradas e saídas (exercício 5 – alternativa 1)

OPEN	Botão ABRIR
CLOSE	Botão FECHAR
STOP	Botão PARAR
PCA	Portão Completamente Aberto
PCF	Portão Completamente Fechado
LVD	LED Verde
LVM	LED Vermelho
LAM	LED Amarelo

1.10.2. Alternativa 2 (PLC3)

Nesta alternativa será adicionado um sensor de presença que detetará se um veículo, uma pessoa, um animal ou qualquer outro objeto estão debaixo do portão. O movimento do portão cessará se o sinal do sensor de presença (SP) for interrompido durante o fecho do portão.

Regras de funcionamento:

- Quando o sensor de presença (SP) (input8) é ativo o movimento do portão cessa imediatamente, apenas durante a ação de fecho do portão;
- Um LED azul (LAZ) permanece aceso enquanto o sensor de presença estiver ativo;
- Quando o sensor de presença deixa de estar ativo um temporizador de 3s começa a contagem;
- No final da contagem do temporizador o portão retoma o movimento de fecho do portão;
- As restantes regras são as mesmas da Alternativa 1.

A Tabela 7 apresenta um quadro resumo das entradas e saídas definidas.

Tabela 7 – Definição das entradas e saídas (exercício 5 – alternativa 2)

SP	Sensor de Presença
LAZ	LED Azul

1.11. Exercício 6 – “Controlo de nível num reservatório” (PLC2)

Implementar um sistema de controlo de nível de líquido num reservatório, com o objetivo de apoiar a aprendizagem sobre a utilização de entradas e saídas analógicas.

Desenvolva um sistema que faça o controlo de nível de líquido de um reservatório, utilizando um potenciômetro (4-20 mA). Deve ser utilizado um voltímetro digital para ler a saída analógica (0-10 V).

Regras de funcionamento:

- O nível de líquido, expresso em percentagem, é simulado através do potenciômetro;
- O sistema é ativado ao pressionar o botão ON e desativado com o botão OFF;
- A válvula de enchimento deve abrir se o nível for igual ou inferior a 20%;
- A válvula de escoamento deve abrir se o nível for:
 - igual ou superior a 80%;
 - entre 20 % e 80% - apenas no arranque do sistema;
- Se a válvula de enchimento estiver aberta, a de escoamento deve estar fechada, e vice-versa;
- O botão OFF para o sistema e desativa o botão ON;
- O nível deve ser mostrado no voltímetro.

Uma vez que não serão utilizadas entradas e saídas digitais, os botões e válvulas terão de ser virtuais (na HMI).

A Tabela 8 apresenta um quadro resumo das entradas definidas.

Tabela 8 – Definição das entradas (exercício 6)

ON	Botão ON
OFF	Botão OFF

2. Resolução dos exercícios

Este subcapítulo apresenta as soluções desenvolvidas em Grafcet e Ladder para cada exercício, assim como a programação realizada na interface. Importa salientar que podem existir múltiplas soluções corretas, sendo as aqui incluídas apenas exemplos possíveis.

2.1. Exercício 1 – “Controlo de tráfego”

A Figura 98 apresenta a resolução do exercício utilizando Grafcet. A Figura 99 e a Figura 100 mostram a implementação equivalente em Ladder, representado as ruas A e B, respetivamente.

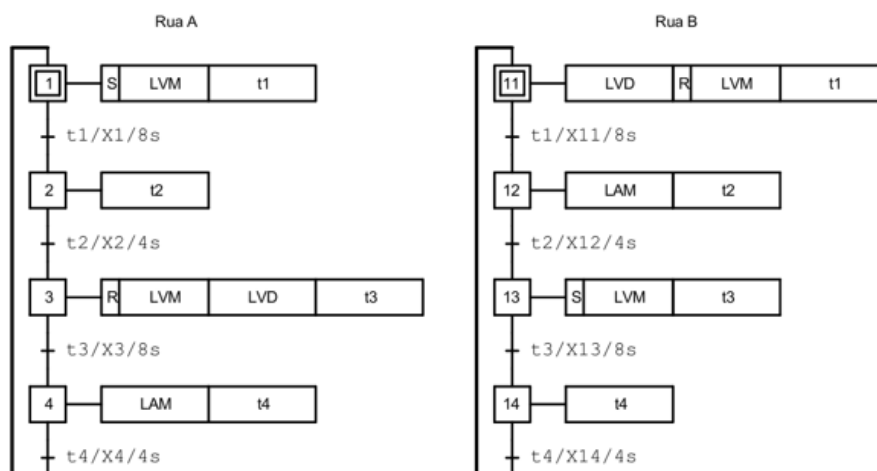


Figura 98 - Resolução do exercício 1.2 (Grafcet)

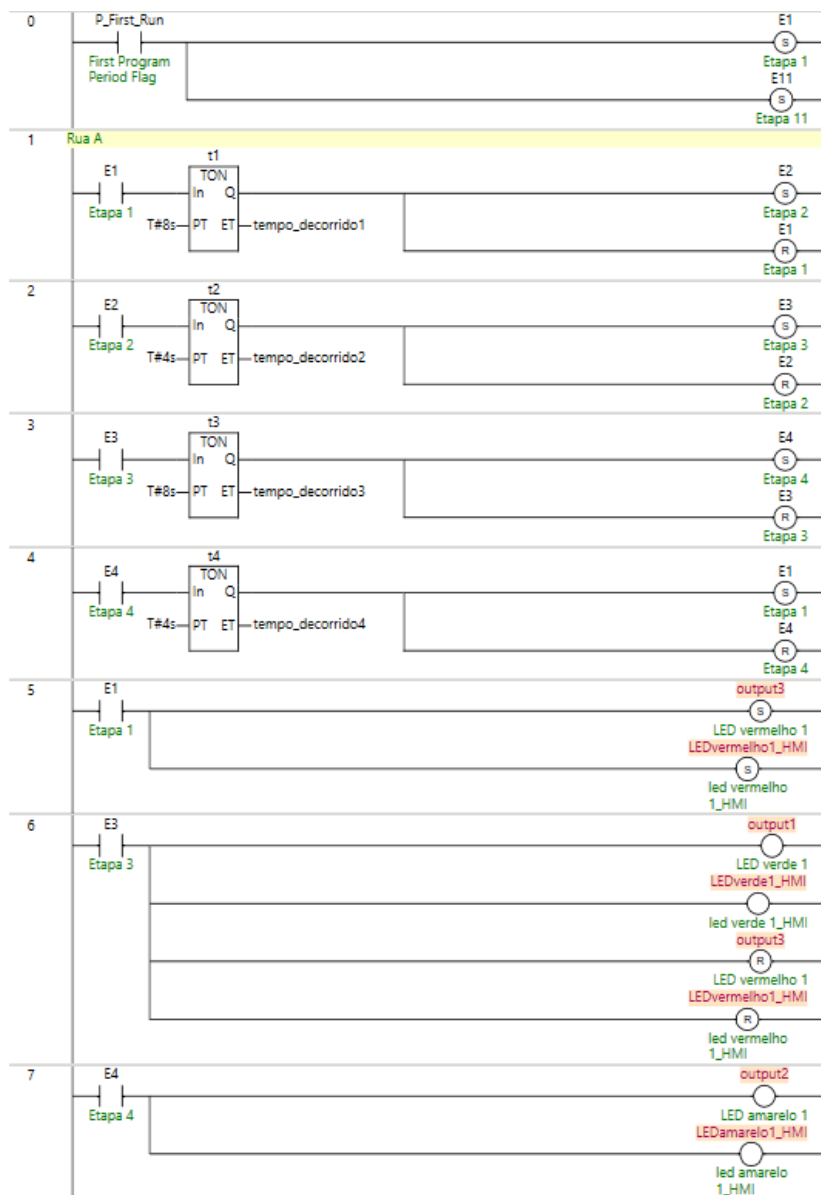


Figura 99 - Resolução do exercício 1.2 - Rua A (Ladder)

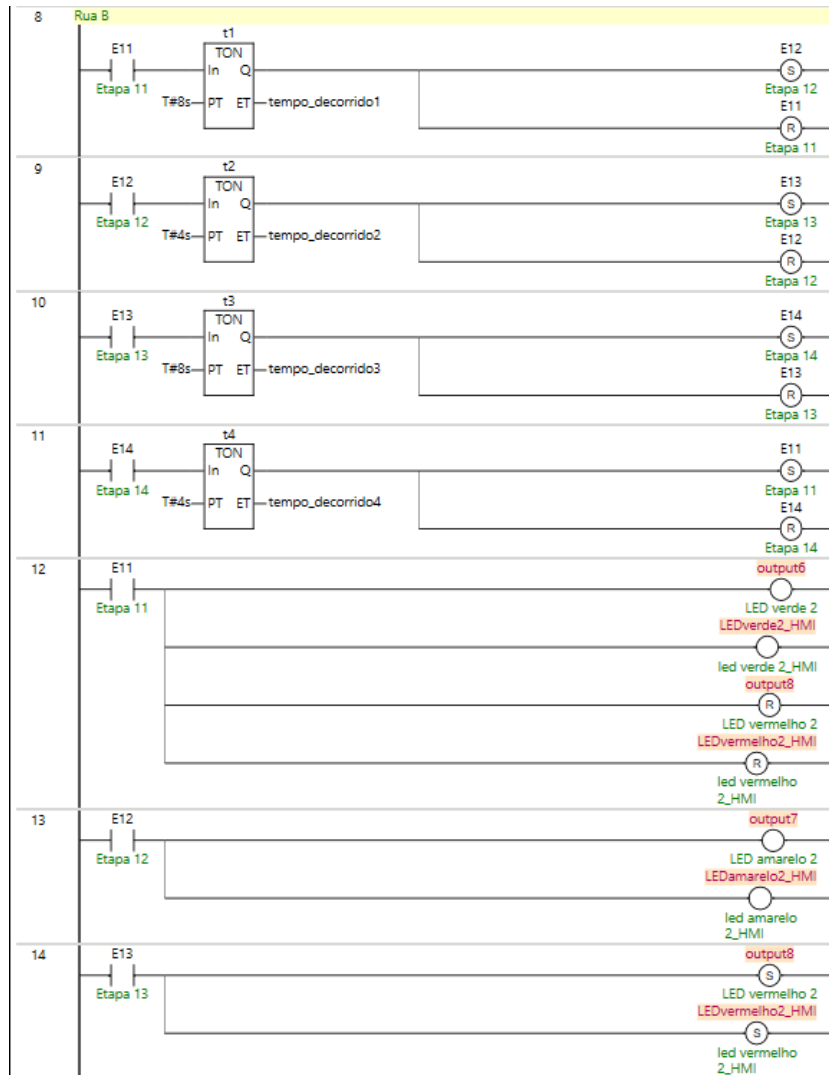


Figura 100 - Resolução do exercício 1.2 - Rua B (Ladder)

A Figura 101 apresenta a janela criada para o Exercício 1.

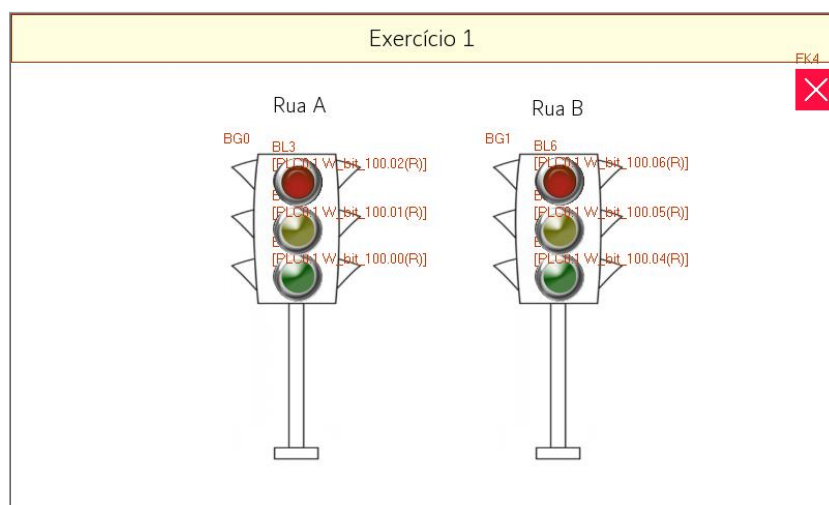


Figura 101 - Exercício 1 (HMI)

As imagem de fundo (estrutura dos semáforos) são Bitmaps (Figura 102), que se encontram no menu **Peças de Funcionamento**. A imagens utilizadas foram carregadas do computador.

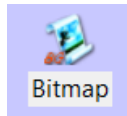


Figura 102 – Bitmap

O gráfico 'CLOSE' faz mudar a janela para o Ecrã de Exercícios, ao qual foi adicionado uma 'Tecla de Função' que garante a mudança de janela para o Exercício 1 (Figura 154).

A Figura 103 apresenta a lista de variáveis utilizadas na programação da interface.

LEDazul2_HMI	BOOL		%W100.07
LEDvermelho2_HMI	BOOL		%W100.06
LEDamarelo2_HMI	BOOL		%W100.05
LEDverde2_HMI	BOOL		%W100.04
LEDazul1_HMI	BOOL		%W100.03
LEDvermelho1_HMI	BOOL		%W100.02
LEDamarelo1_HMI	BOOL		%W100.01
LEDverde1_HMI	BOOL		%W100.00

Figura 103 – Variáveis utilizadas na programação da interface – Exercício 1

2.2. Exercício 2 – “Acionamento e paragem de um motor”

A Figura 104 apresenta o exercício resolvido em Grafcet, enquanto a Figura 105 mostra a solução do mesmo implementada em Ladder. É importante referir que o botão ON foi associado ao botão verde e o botão OFF foi associado ao botão vermelho.

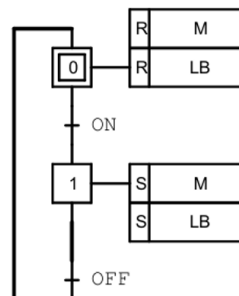


Figura 104 - Resolução do exercício 2 (Grafcet)

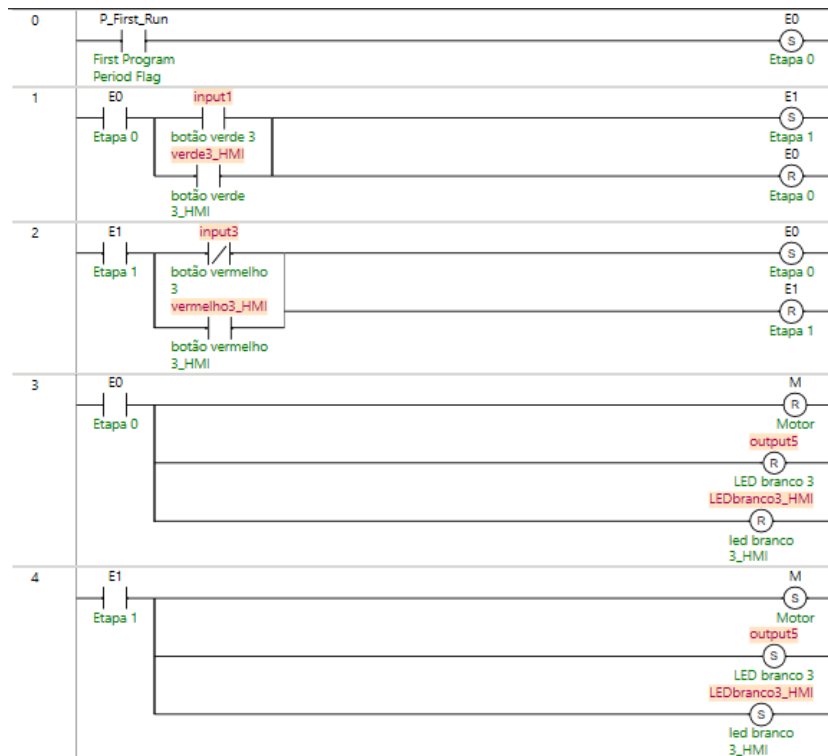


Figura 105 - Resolução do exercício 2 (Ladder)

A Figura 106 apresenta a janela criada para o Exercício 1.



Figura 106 - Exercício 2 (HMI)

O movimento do motor será simulado pelo movimento da caixa no tapete rolante. Assim, para a programação deste exercício foram necessários duas peças do tipo 'Definição de Estado de bits', uma do tipo 'Luz de Estado de Bits', um 'Bitmap' e uma peça do tipo 'Animação', para representar dois botões, um LED, um tapete rolante e uma caixa em movimento, respetivamente. O Bitmap foi criado com uma imagem carregada do computador.

O movimento da caixa é simulado com recurso à peça de 'Animação' (Figura 107) que se encontra no menu **Peças de PLC**. O endereço de leitura apresentado na Figura 108 está associado à variável "pos_caixa_HMI" criada no Sysmac Studio.

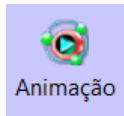


Figura 107 - Animação

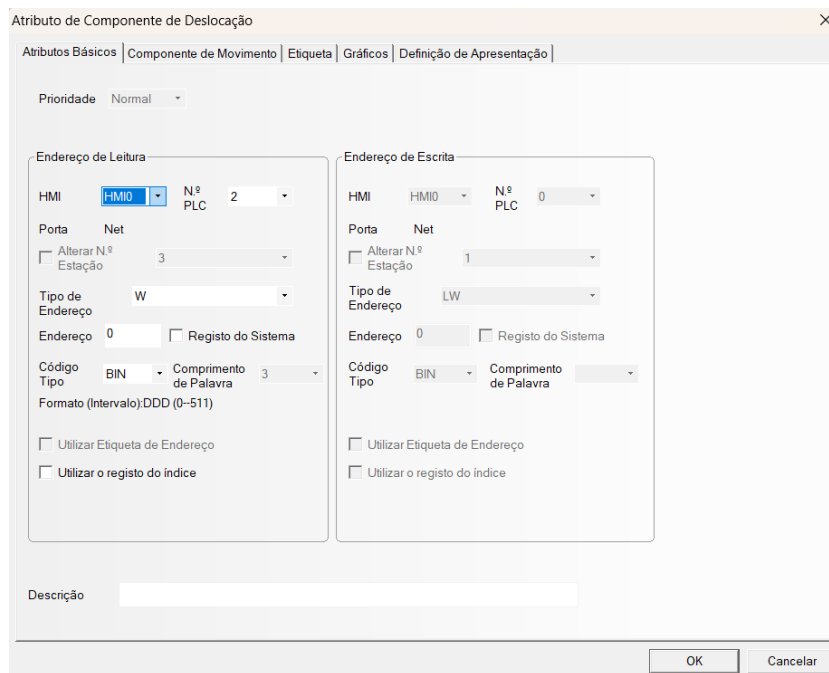


Figura 108 - Atributos básicos do componente de deslocação

No menu **Componentes do movimento** definiu-se que a caixa só se pode movimentar no eixo x, ou seja, na horizontal. O gráfico utilizado (imagem da caixa) foi carregado do computador para o *NB-Designer*.

Para garantir que a caixa se desloca apenas ao longo do comprimento do tapete e que o movimento se mantém enquanto o botão OFF não for ativado, foram implementadas as linhas de código 5 e 6 no Ladder, conforme ilustrado na Figura 109. O valor 740 corresponde à posição, no eixo X, que a caixa deve atingir para percorrer todo o tapete.

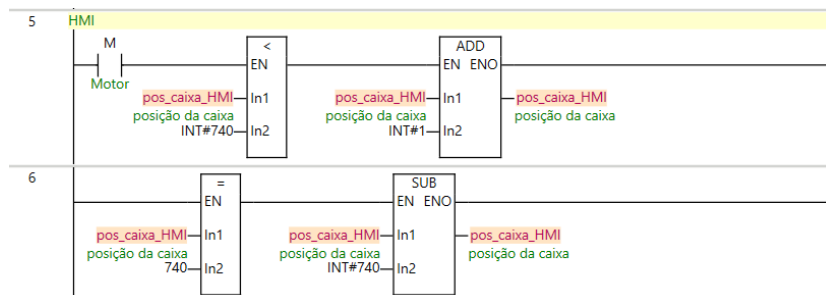


Figura 109 - Linhas de código Ladder associadas à programação da HMI - Exc. 2

O gráfico 'CLOSE' faz mudar a janela para o Ecrã de Exercícios, ao qual foi adicionado uma 'Tecla de Função' que garante a mudança de janela para o Exercício 2 (Figura 154).

A Figura 110 apresenta a lista de variáveis utilizadas na programação da interface.

verde3_HMI	BOOL		%W0.08
vermelho3_HMI	BOOL		%W0.10
LEDbranco3_HMI	BOOL		%W100.14
pos_caixa_HMI	INT		%W1

Figura 110 – Variáveis utilizadas na programação da interface – Exercício 2

2.3. Exercício 3 – “Detetor de metais”

A Figura 111 apresenta a resolução do exercício em Grafcet, enquanto a Figura 112 mostra a mesma solução implementada em Ladder. Neste exercício foi utilizada a função **Get1sClk**, na linha 4, para que o LED vermelho pisque com uma frequência de 1 Hz sempre que está ativo. O sensor indutivo (SI) utilizado foi o E2K-X4MF1.

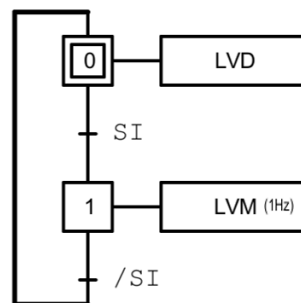


Figura 111 - Resolução do exercício 3 (Grafcet)

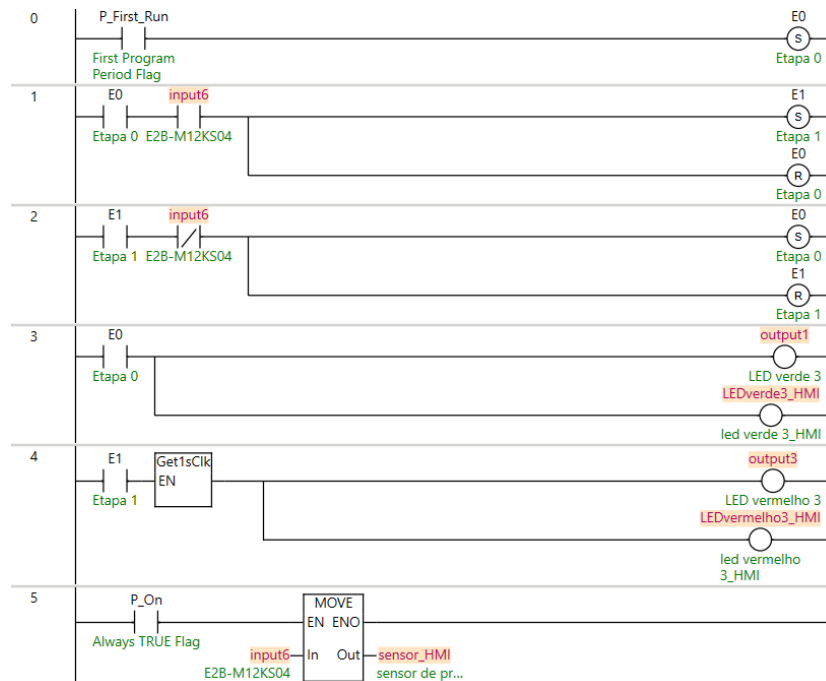


Figura 112 – Resolução do exercício 3 (Ladder)

A Figura 113 apresenta a janela criada para o Exercício 3. Para a programação deste exercício foram utilizadas apenas duas peças do tipo ‘Luz de Estado de Bits’, para simular os LEDs verde e vermelho, bem como uma caixa de apresentação de alarme.

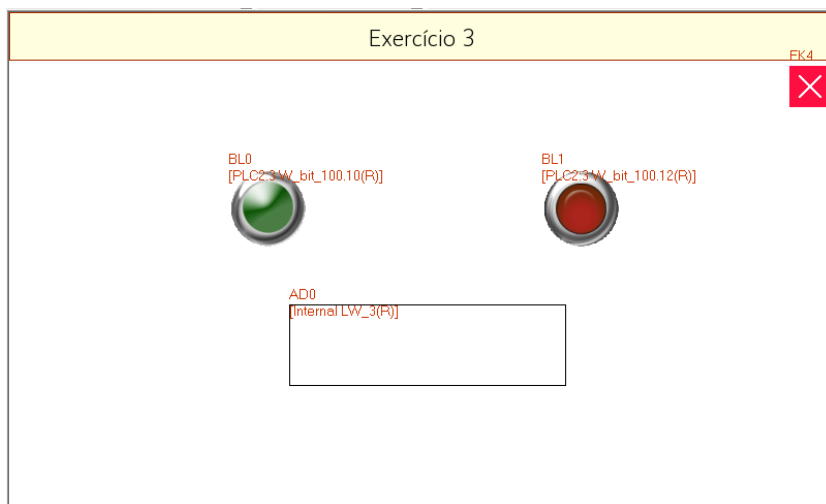


Figura 113 – Exercício 3 (HMI)

Para a implementação do alarme, foi necessário transferir a variável do sensor (*input6*) para uma área de memória (*sensor_HMI*), conforme definido na linha 5 do Ladder apresentada na Figura 112. Em seguida, no menu 'Base de Dados de Projetos', acedeu-se à opção 'Acesso a Informações de Alarmes' (através de duplo clique com o botão esquerdo do rato), onde foi adicionada a informação relativa ao alarme, tal como ilustrado na Figura 114.

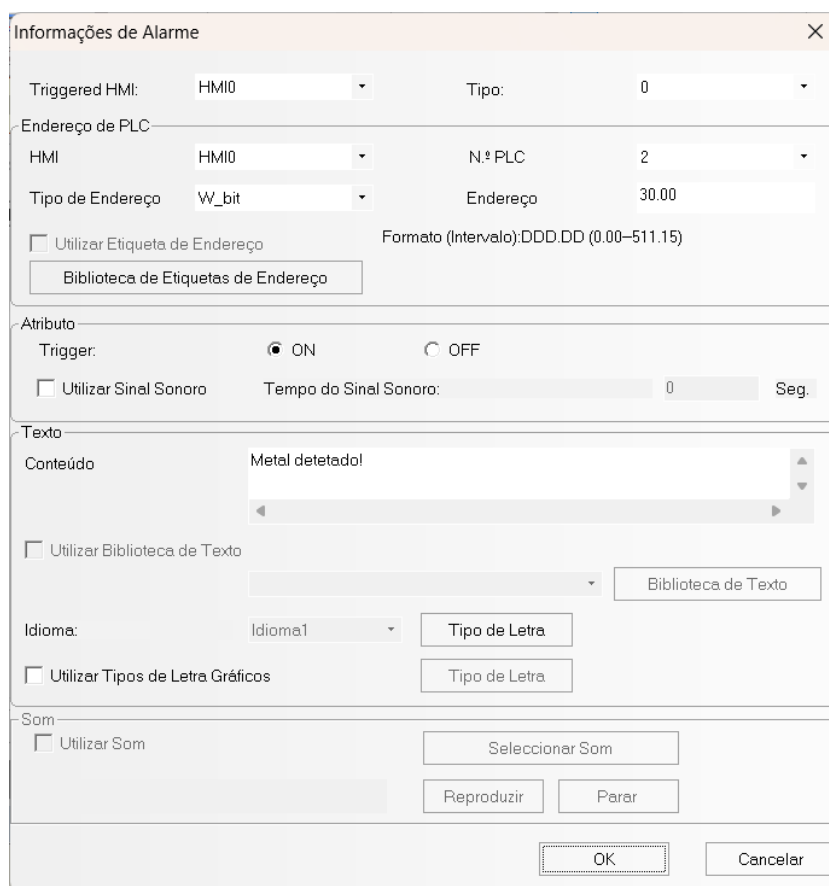


Figura 114 – Apresentação de Alarme

A peça 'Apresentação de Alarme' (Figura 115), disponível no menu **Peças de PLC** serve apenas para apresentação do alarme, quando este é ativo.

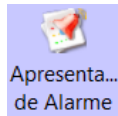


Figura 115 - Apresentação de alarme

O gráfico 'CLOSE' faz mudar a janela para o Ecrã de Exercícios, ao qual foi adicionado uma 'Tecla de Função' que garante a mudança de janela para o Exercício 3 (Figura 154).

A Figura 116 apresenta a lista de variáveis utilizadas na programação da interface.

LEDverde3_HMI	BOOL		%W100.10
LEDvermelho3_HMI	BOOL		%W100.12
sensor_HMI	BOOL		%W30.00

Figura 116 – Variáveis utilizadas na programação da interface – Exercício 3

2.4. Exercício 4.1 – “Controlo de entradas e saídas”

O Grafcet desenvolvido para este exercício está ilustrado na Figura 117. A implementação em Ladder foi organizada em três secções: as duas primeiras (da esquerda para a direita) correspondem ao controlo das entradas e saídas do parque, e a terceira estabelece as condições para identificar quando o parque está cheio, bem como as ações a serem executadas nesse caso.

De notar que o botão de entrada (BE) e o botão de saída (BS) foram associados a um botão verde e vermelho, respetivamente. Os sensores de entrada (SE) e de saída (SS) correspondem ao sensor fotoelétrico E3FA-DP11. Os estados de cancela de entrada/saída aberta (CEA e CSA) e de cancela de entrada/saída fechada (CEF e CSF) são virtuais, representadas na interface HMI.

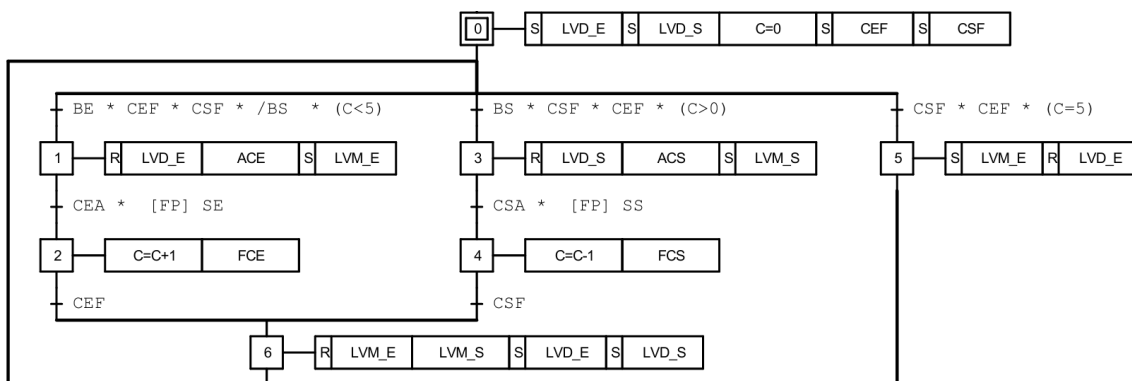


Figura 117 - Resolução do exercício 4.1

Para tornar a resolução em Ladder mais clara e compreensível, esta foi segmentada em várias partes. A Figura 118 apresenta as condições de transição entre etapas; a Figura 119 mostra as ações correspondentes a cada etapa. Já a Figura 120 representa as condições relacionadas com as cancelas de entrada e de saída, e a Figura 121 ilustra a transferência de determinadas variáveis para outras que serão utilizadas na programação da HMI.

Para contar os carros que estão dentro do parque de estacionamento foi utilizado um contador do tipo **CTUD** que permite contagem crescente e decrescente. A contagem crescente está associada à entrada **CU** e a contagem decrescente à entrada **CD**. O valor definido do contador

está em *PV*, enquanto o valor atual da contagem em tempo real é mostrado em *CV*. A entrada *Reset* zera o contador, e a entrada *Load* carrega o contador com o valor predefinido.

Para garantir que a cancela de entrada não abre quando o parque está cheio, utilizou-se a função de comparação $<$. A entrada *In1* recebeu o valor atual da contagem (*CV*) do contador, e a entrada *In2* recebeu o número máximo de carros permitidos no parque. Assim, garante-se que o número de carros dentro do parque é inferior à limitação máxima do mesmo. De forma semelhante, foi utilizada a função de comparação $>$, em que a entrada *In2* recebeu o valor 0. Isso garante que uma das condições para abrir a cancela de saída do parque é que ele não esteja vazio."

Nas linhas dois e quatro do programa em Ladder, verifica-se que o sensor (*Input10*) está associado a um flanco positivo (\uparrow), o que faz com que a condição seja verdadeira apenas quando o sinal do sensor transita de 0 para 1.

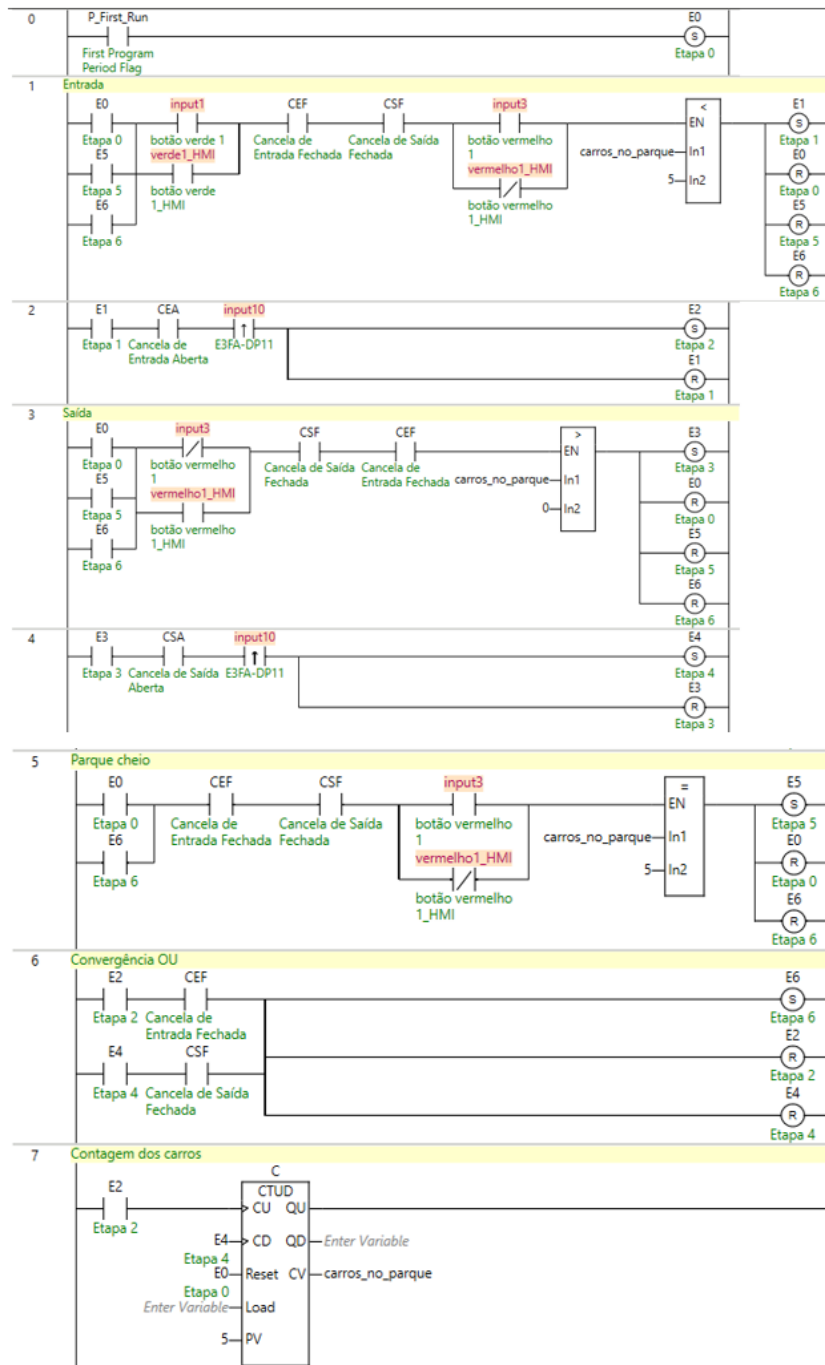


Figura 118 - Resolução do exercício 4.1 (Ladder) – Condições de transição

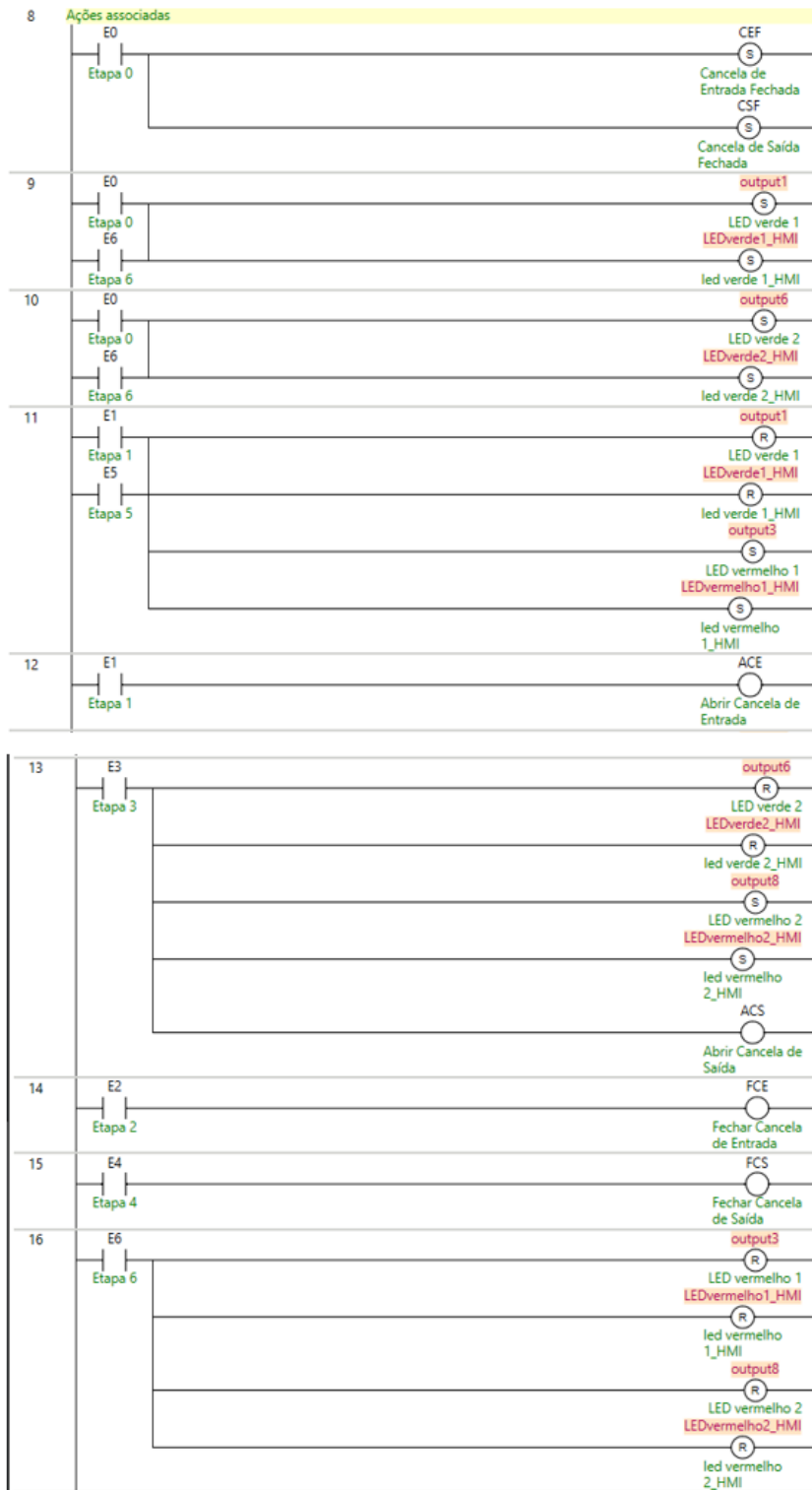


Figura 119 - Resolução do exercício 4.1 (Ladder) –Ações

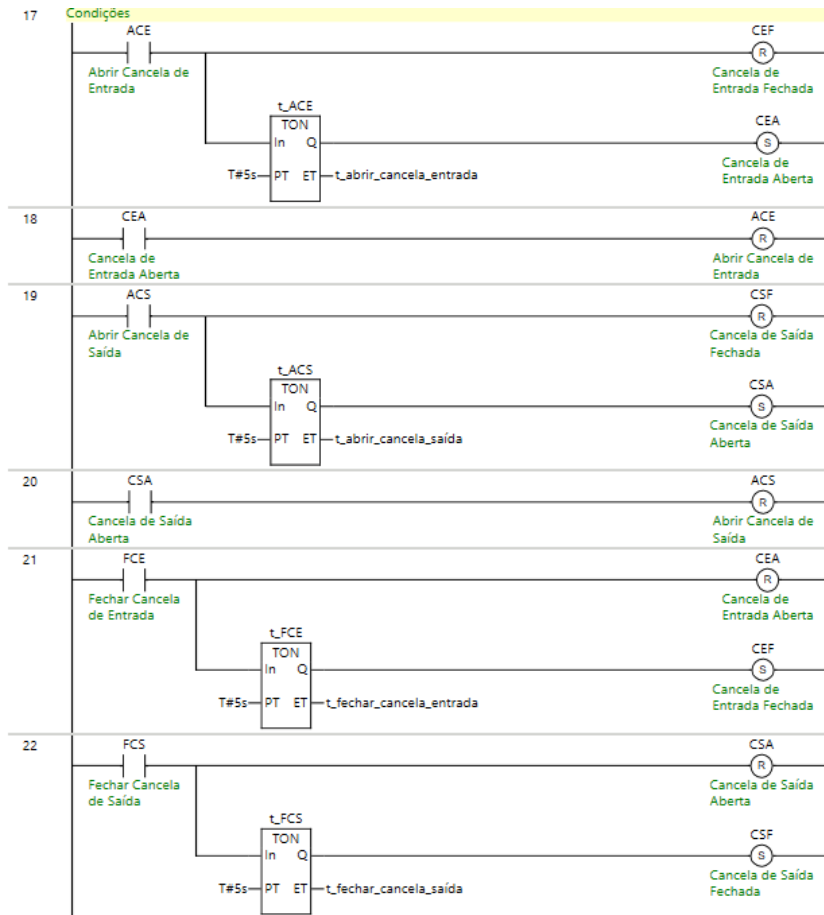


Figura 120 - Resolução do exercício 4.1 (Ladder) – Condições associadas às cancelas de entrada e de saída

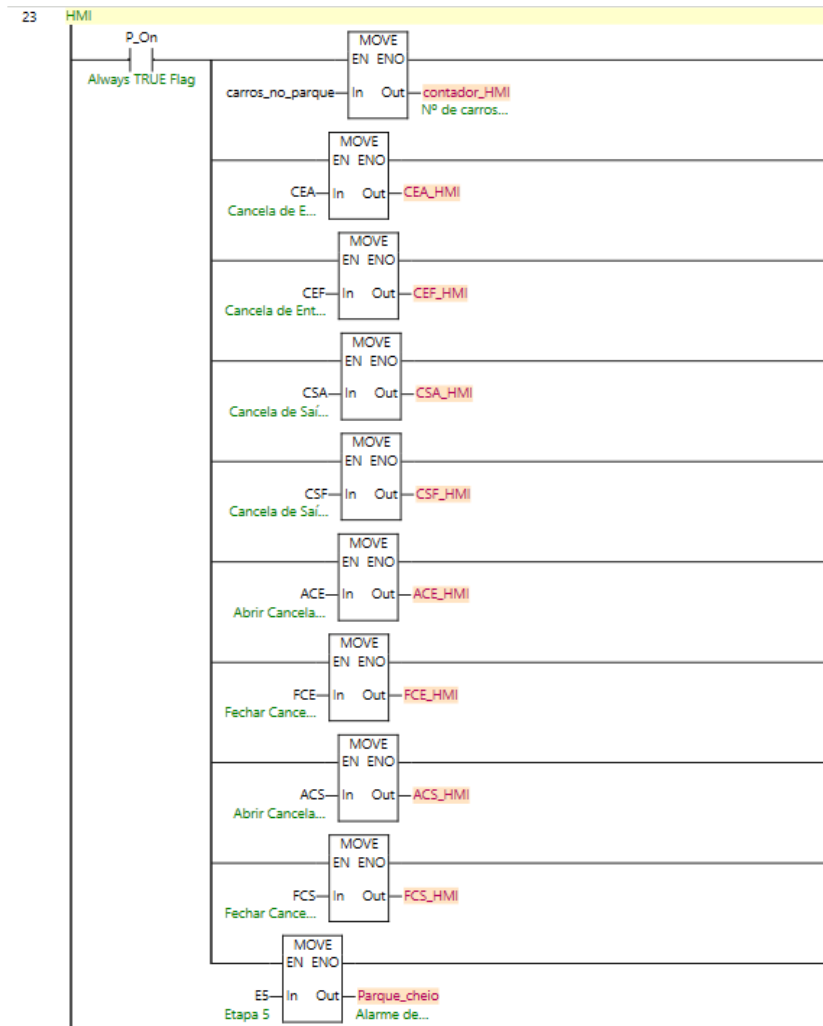


Figura 121 - Resolução do exercício 4.1 (Ladder) – Variáveis usadas na programação da HMI

A Figura 122 apresenta a janela criada para o Exercício 4.1.

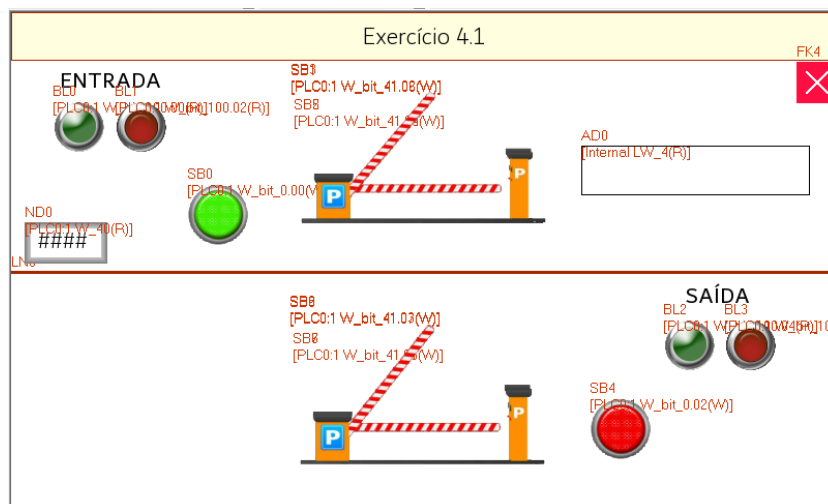


Figura 122 - Exercício 4.1 (HMI)

Na programação da janela do Exercício 4.1, foram utilizadas duas peças do tipo 'Definição de Estado de Bits' para representar os botões de entrada e saída do parque, quatro peças do tipo 'Luz de Estado de Bits' para indicar os LEDs de entrada e saída, uma peça do tipo 'Apresentador

de Números' para exibir o número de carros presentes no parque, e uma peça do tipo 'Apresentação de Alarme' para mostrar o aviso "Parque cheio!".

O aviso está associado à variável *parque_cheio*, previamente criada no Sysmac Studio. A Figura 152 apresenta o alarme adicionado na lista de 'Acesso a Informações de Alarme'.



Figura 123 - Alarme (Exc. 4.1)

A simulação da abertura e do fecho da cancela foi implementada através da implementação de quatro peças sobrepostas do tipo 'Definição de Estado de Bits' para a entrada e quatro para a saída. Em cada conjunto, duas peças correspondem à imagem da cancela aberta — associadas aos estados *CEA*, *CSA*, *FCE* e *FCS* — e as outras duas à imagem da cancela fechada — correspondentes aos estados *CEF*, *CSF*, *ACE* e *ACS*.

Para garantir que apenas uma imagem é exibida de cada vez, foram definidas condições de apresentação que asseguram que cada peça só é visível quando a variável associada se encontra ativa. A Figura 124 apresenta, como exemplo, a apresentação condicional relativa ao estado *CEA*, na qual é imposto que o gráfico só pode ser apresentado quando esse estado for verdadeiro.

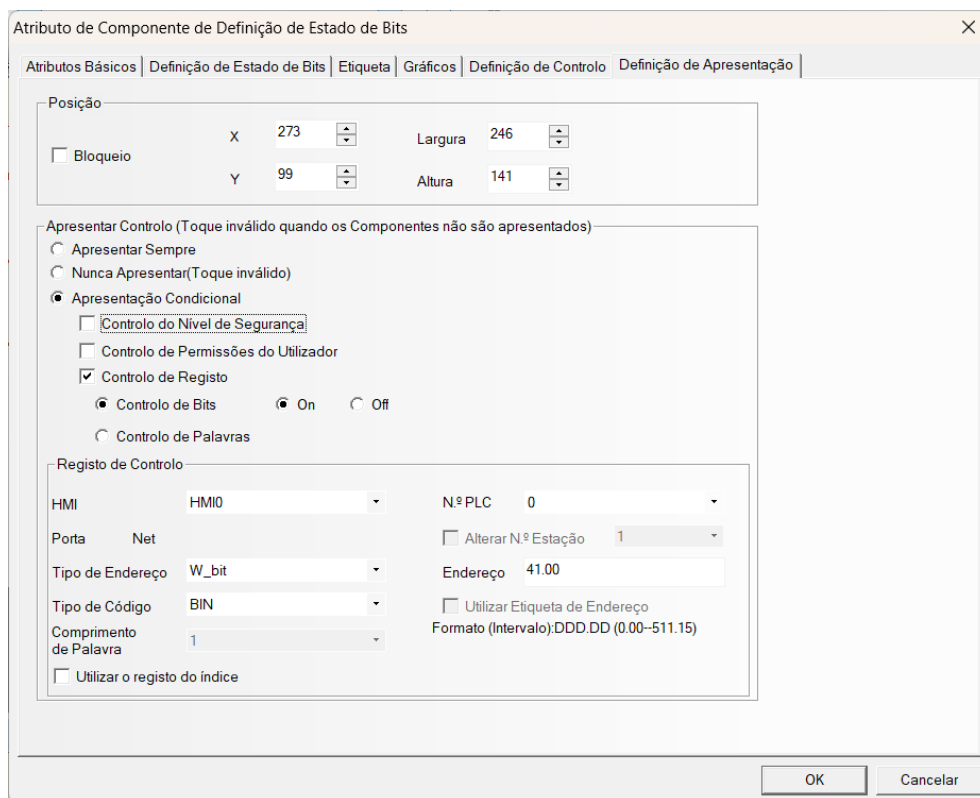


Figura 124 - Apresentação condicional (Exc. 4.1)

O gráfico 'CLOSE' faz mudar a janela para o Ecrã de Exercícios, ao qual foi adicionado uma 'Tecla de Função' que garante a mudança de janela para o Exercício 4.1 (Figura 154).

A Figura 125 apresenta a lista de variáveis utilizadas na programação da interface.

verde1_HMI	BOOL		%W0.00
vermelho1_HMI	BOOL		%W0.02
LEDverde1_HMI	BOOL		%W100.00
LEDvermelho1_HMI	BOOL		%W100.02
LEDverde2_HMI	BOOL		%W100.04
LEDvermelho2_HMI	BOOL		%W100.06
CEF_HMI	BOOL		%W41.00
CSF_HMI	BOOL		%W41.01
CEA_HMI	BOOL		%W41.02
CSA_HMI	BOOL		%W41.03
contador_HMI	INT		%W40
ACE_HMI	BOOL		%W41.04
FCE_HMI	BOOL		%W41.05
ACS_HMI	BOOL		%W41.06
FCS_HMI	BOOL		%W41.07
Parque_cheio	BOOL		%W41.08

Figura 125 – Variáveis utilizadas na programação da interface – Exercício 4.1

2.5. Exercício 4.2 – “Controlo de vagas de estacionamento”

A resolução em Grafcet e a respetiva implementação em Ladder está representada na Figura 126 e na Figura 127, respetivamente. De notar que o sensor 1 (S1) corresponde ao sensor fotoelétrico E3FA-DP11. Nas linha um do programa em Ladder, verifica-se que o sensor (*Input10*) está associado a um flanco negativo (\downarrow), o que faz com que a condição seja verdadeira apenas quando o sinal do sensor transita de 1 para 0, ao contrário do que acontece na linha 2, onde o sensor está associado a um flanco positivo.

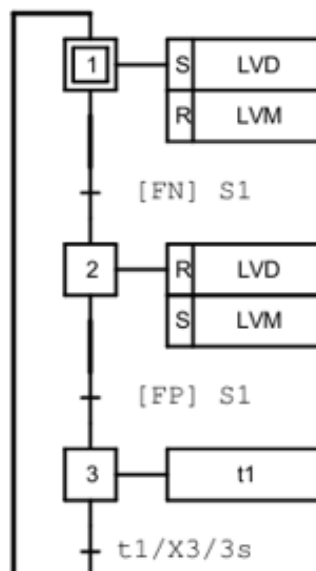


Figura 126 - Resolução do exercício 4.2 (Grafct)

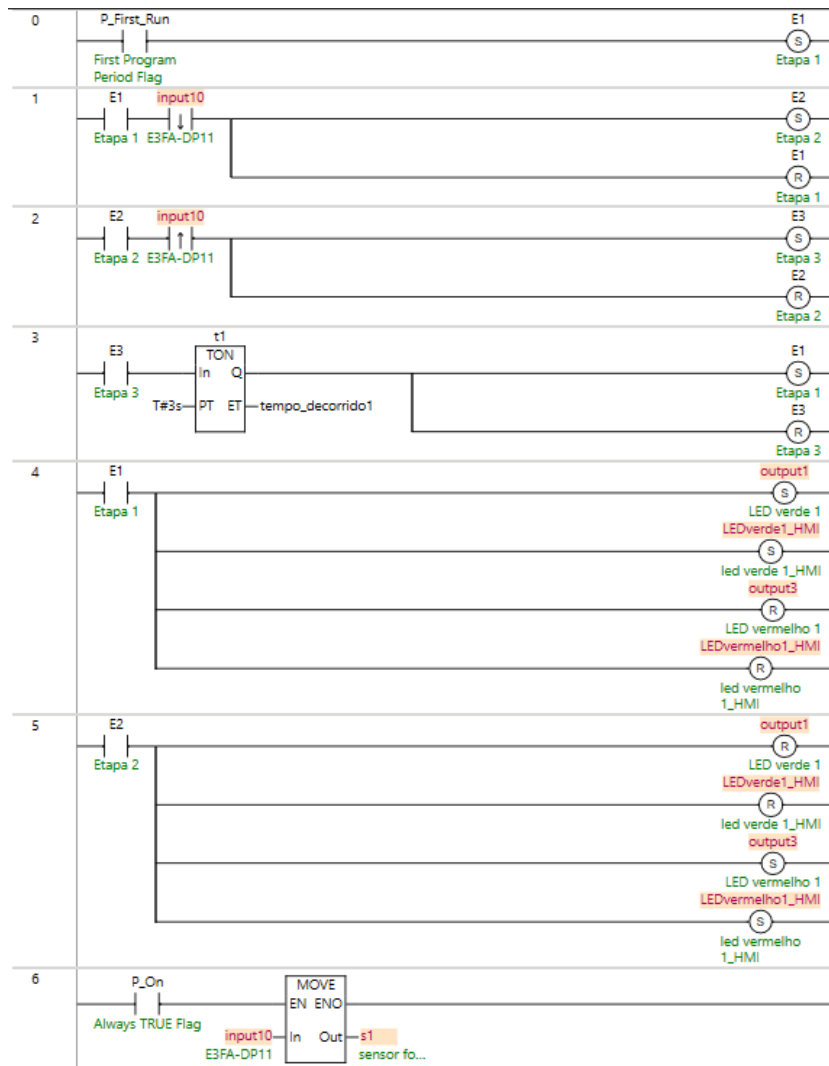


Figura 127 - - Resolução do exercício 4.2 (Ladder)

A Figura 128 apresenta a janela criada para o Exercício 4.2.

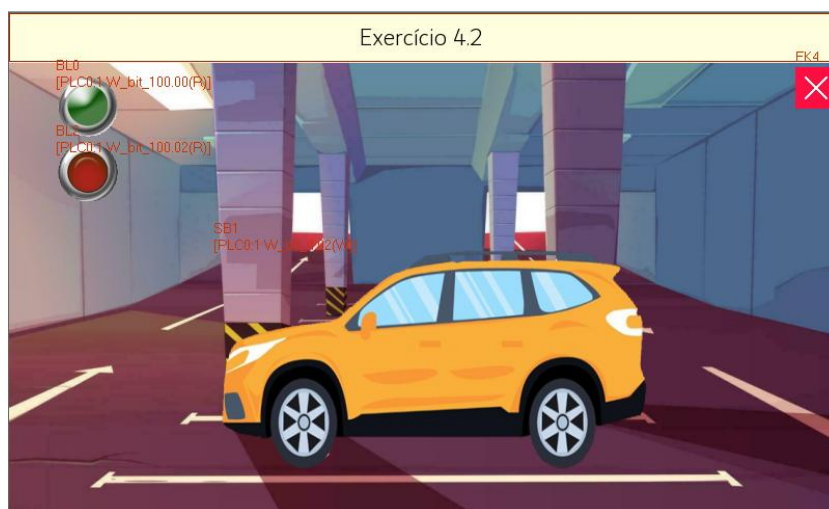


Figura 128 - Exercício 4.2 (HMI)

Para a programação deste exercício, foram utilizados dois componentes do tipo 'Luz de Estado de Bits' para representar os dois LEDs. O cenário dos lugares de estacionamento foi criado através de um componente 'Bitmap', utilizando uma imagem carregada a partir do computador. Para indicar a presença ou ausência de um carro, foi utilizada uma peça do tipo 'Definição de Estado de Bits', à qual foi associada a área de memória s1 como endereço de escrita, correspondente ao sensor fotoelétrico. O objetivo é que o carro apenas seja exibido quando o sensor fotoelétrico deixar de detetar sinal. Para isso, é necessário configurar o estado do bit como 'Alternar' e definir a condição de apresentação conforme ilustrado na Figura 129. A condição impõe que o gráfico só pode ser visível quando o sinal do sensor for 0.

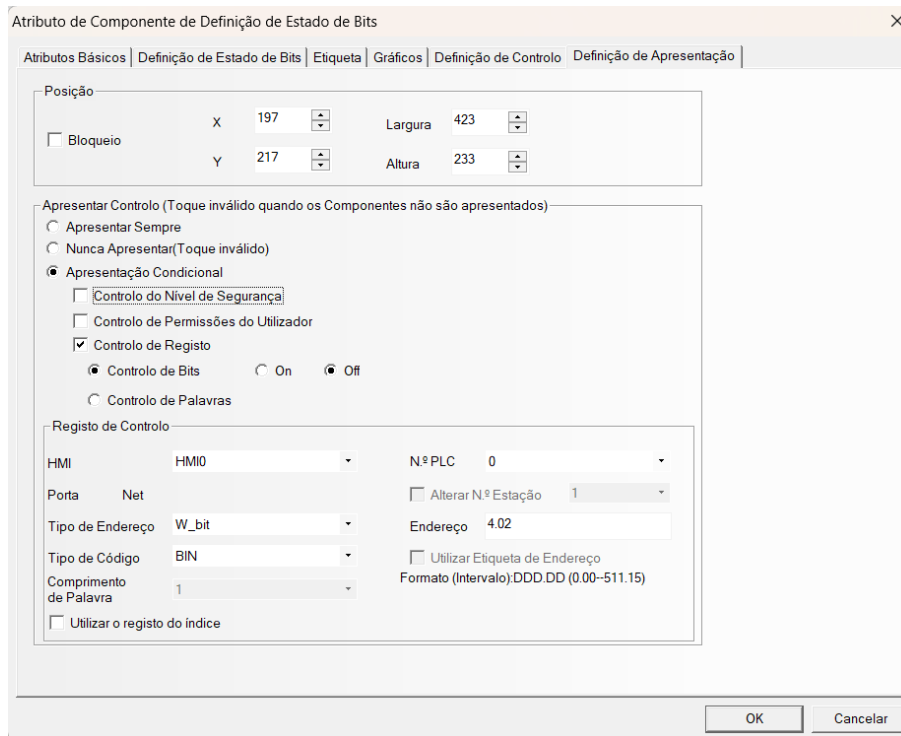


Figura 129 - Apresentação condicional (Exc. 4.2)

O gráfico utilizado foi criado com uma imagem carregada do computador.

O gráfico 'CLOSE' faz mudar a janela para o Ecrã de Exercícios, ao qual foi adicionado uma 'Tecla de Função' que garante a mudança de janela para o Exercício 4.2 (Figura 154).

A Figura 130 apresenta a lista de variáveis utilizadas na programação da interface.

LEDverde1_HMI	BOOL		%W100.00
LEDvermelho1_HMI	BOOL		%W100.02
s1	BOOL		%W4.02

Figura 130 – Variáveis utilizadas na programação da interface – Exercício 4.2

2.6. Exercício 5 – Alternativa 1

A Figura 131 ilustra a resolução em Grafcet. As figuras que se seguem correspondem à implementação em Ladder: a Figura 132 e a Figura 133 mostram o sistema principal de abertura

e fecho do portão, enquanto a Figura 134 expõe o sistema responsável pela paragem do portão, quando acionada através do botão STOP.

Nesta resolução, atribuiu-se a função de comando de abertura (OPEN) ao botão verde, a de comando de fecho (CLOSE) ao botão vermelho e a de paragem (STOP) ao botão amarelo. Os estados de portão completamente aberto (PCA) e portão completamente fechado (PCF) são saídas virtuais, representadas na interface HMI.

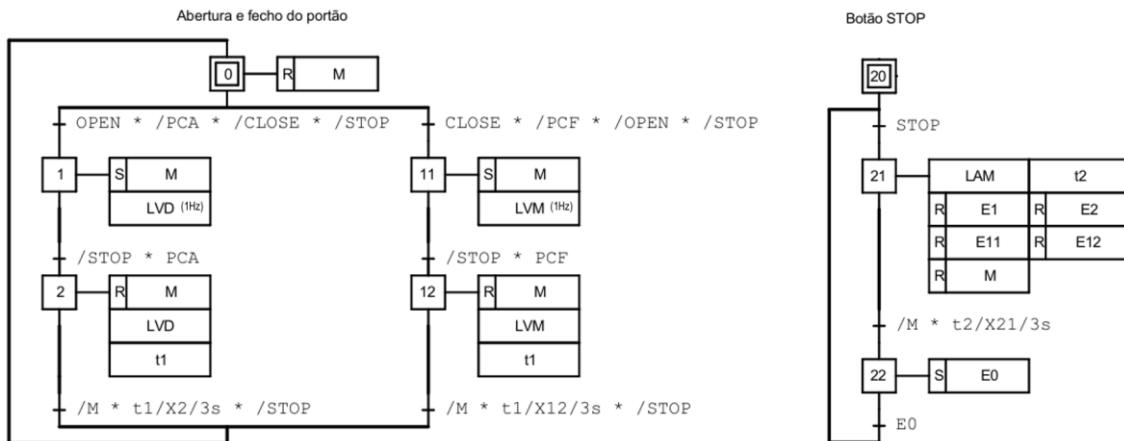


Figura 131 - Resolução do exercício 5 – Alternativa 1 (Grafcet)

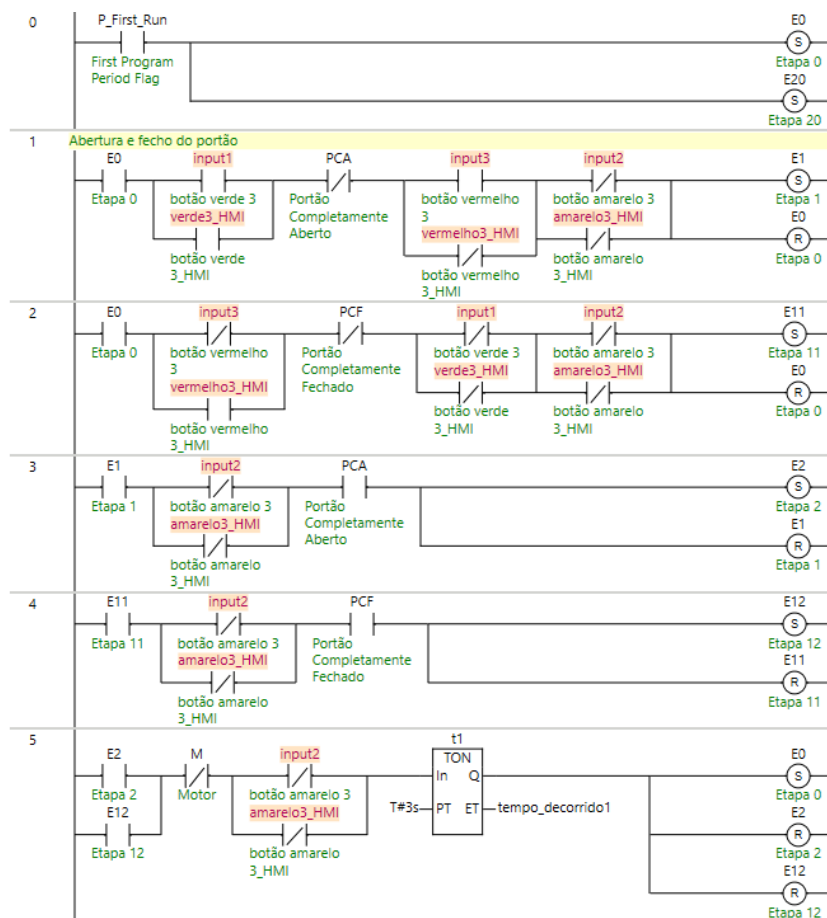


Figura 132 - Resolução do exc. 5 – Alternativa 1 – Abertura e fecho do portão (Ladder)

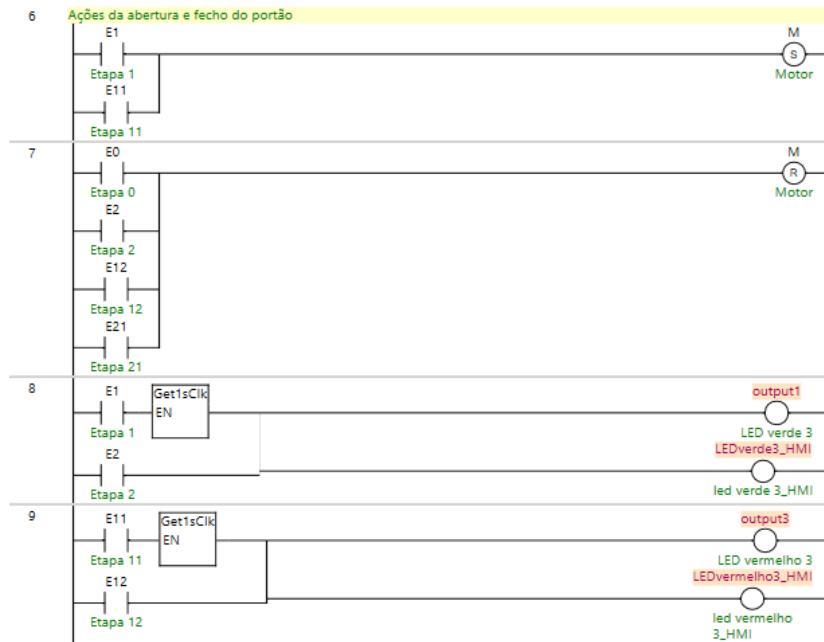


Figura 133 - Resolução do exc. 5 – Alternativa 1 – Ações da abertura e fecho do portão

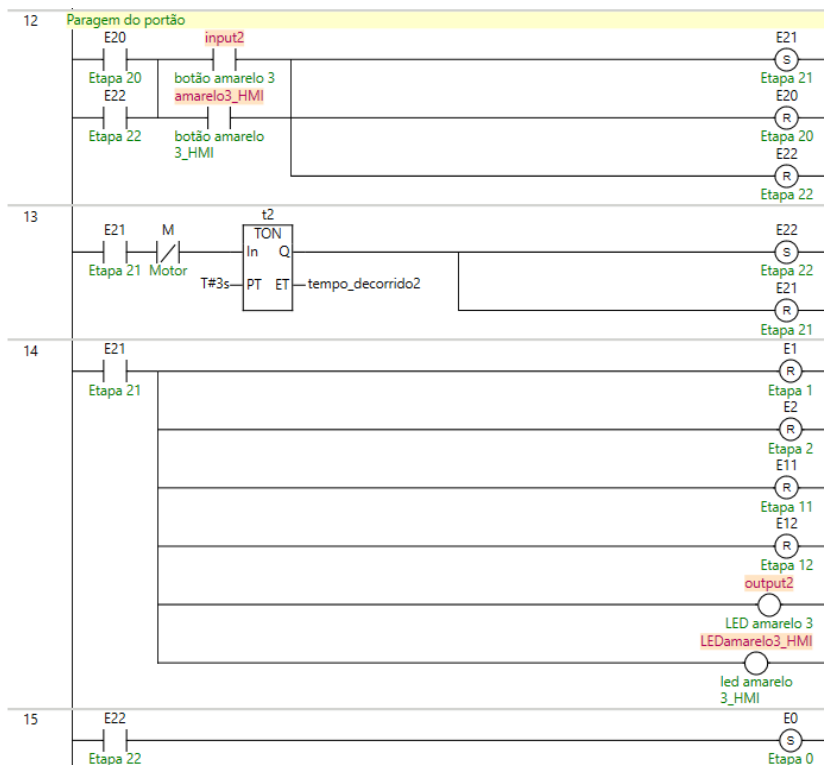


Figura 134 - Resolução do exc. 5 – Alternativa 1 – Paragem do portão (Ladder)

As condições definidas na Figura 135 asseguram que, ao pressionar o botão vermelho para fechar o portão, o estado de Portão Completamente Aberto (PCA) é desativado e que ao pressionar o botão verde para abrir o portão, o estado de Portão Completamente Fechado (PCF) é desativado. Simultaneamente, as linhas de código apresentadas na Figura 136 foram implementadas como suporte à programação da HMI.

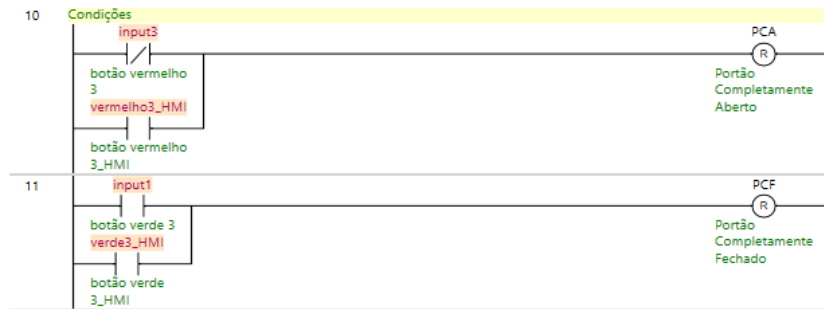


Figura 135 - Resolução do exc. 5 - Alternativa 1 - Condições (Ladder)

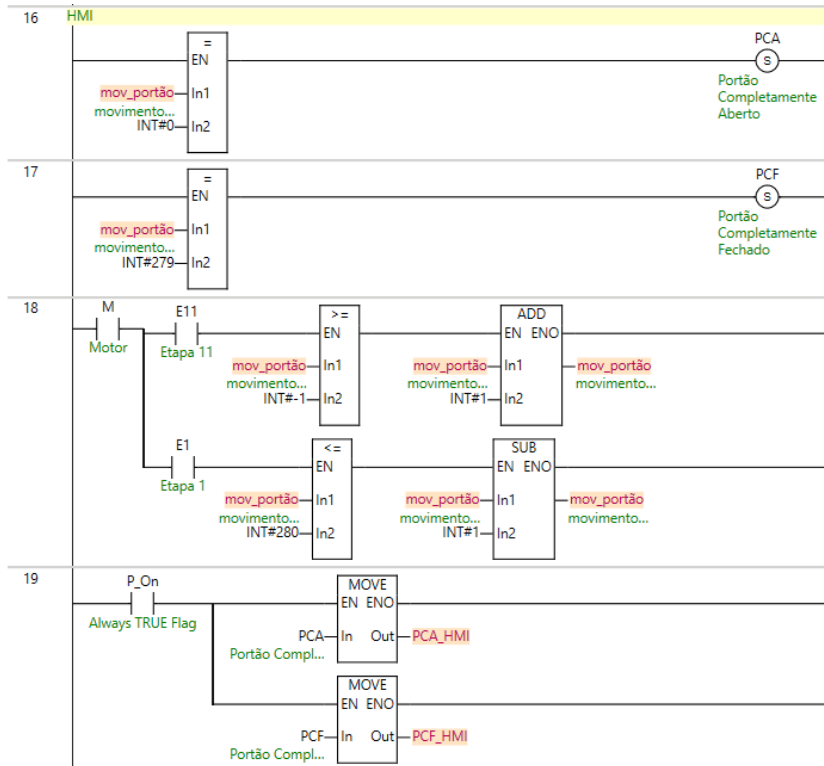


Figura 136 - Resolução do exc. 5 - Alternativa 1 – HMI (Ladder)

A programação do Exercício 5 – Alternativa 1 no *NB-Designer* está explicada no subcapítulo 2.7.

2.7. Exercício 5 – Alternativa 2

A Figura 137 apresenta o Grafcet que descreve tanto o sistema de abertura e fecho do portão como o funcionamento associado ao sensor de presença. O Grafcet do circuito de paragem do portão é igual ao da Alternativa 1, ilustrado na Figura 131.

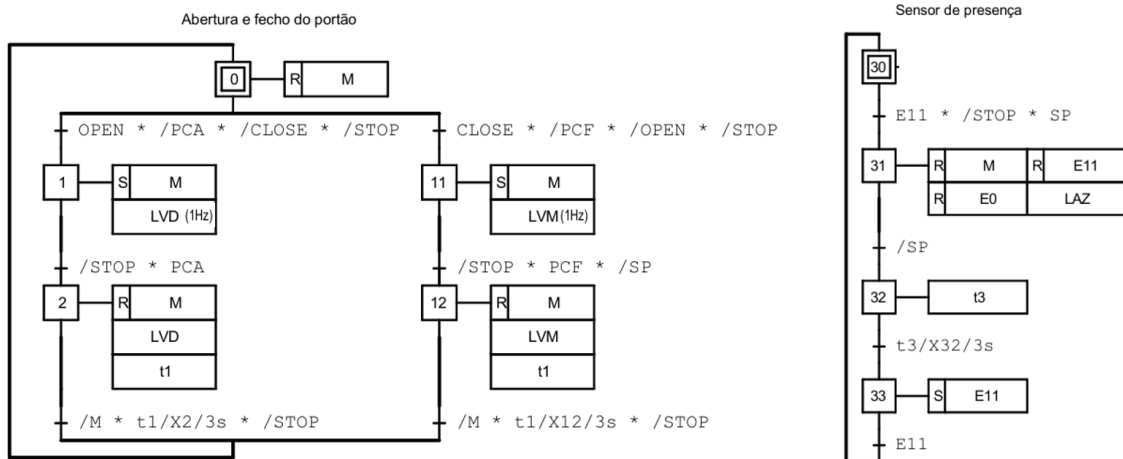


Figura 137 - Resolução do exercício 5 - Alternativa 2 (Grafcet)

A implementação em Ladder do sistema principal de abertura e fecho do portão mantém-se inalterada, com exceção das linhas 4 e 7, onde foram introduzidas duas alterações: a condição negada do sensor de presença e a inclusão da etapa 31 em paralelo com as restantes etapas responsáveis pela desativação do motor, conforme ilustrado na Figura 138.

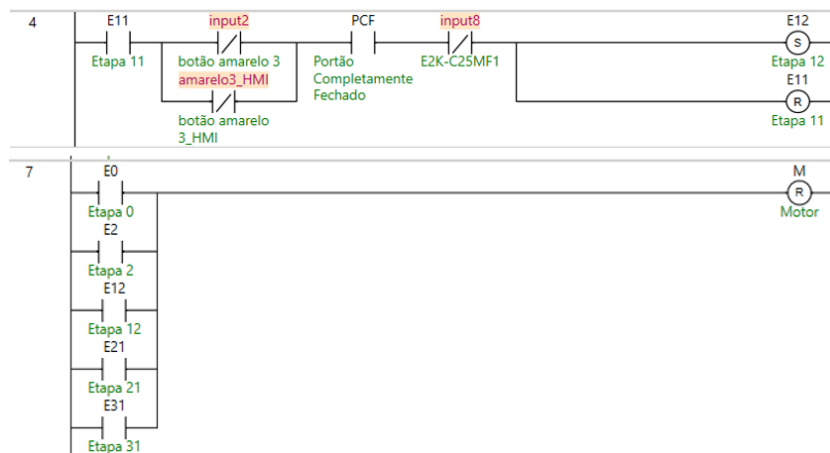


Figura 138 - Resolução do exc. 5 - Alternativa 2 – Alterações relativas à alternativa 1 (Ladder)

A Figura 139 apresenta a implementação em Ladder correspondente à paragem do motor na alternativa 2, que embora muito idêntica à da alternativa 1 também sofreu algumas alterações.

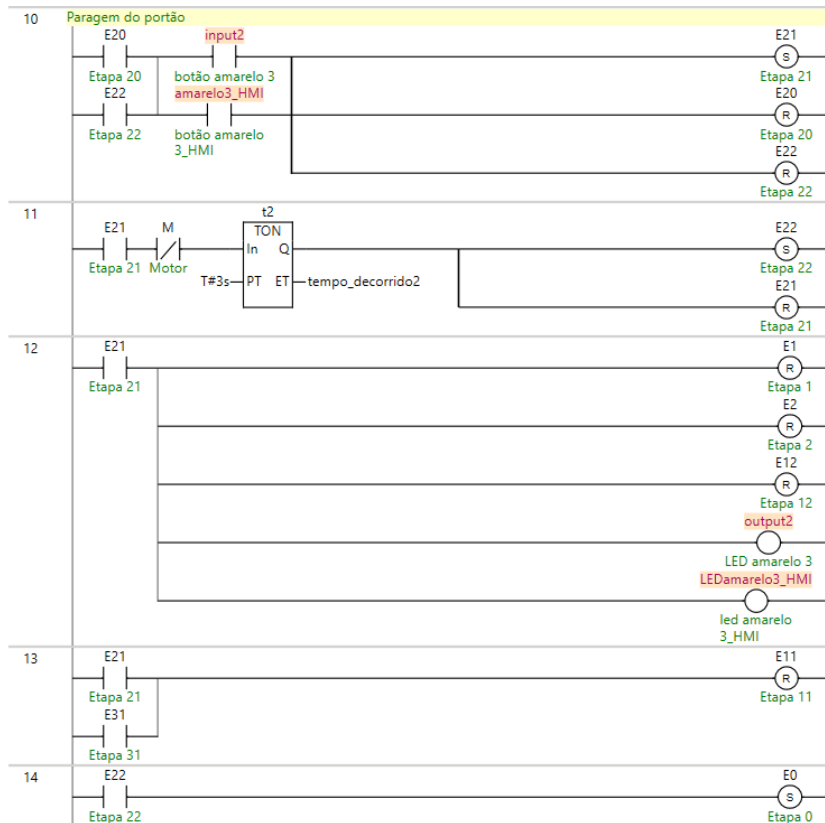


Figura 139 - Resolução do exc. 5 - Alternativa 2 – Paragem do portão (Ladder)

A implementação em Ladder do Grafcet correspondente ao sensor de presença está apresentada na Figura 140.

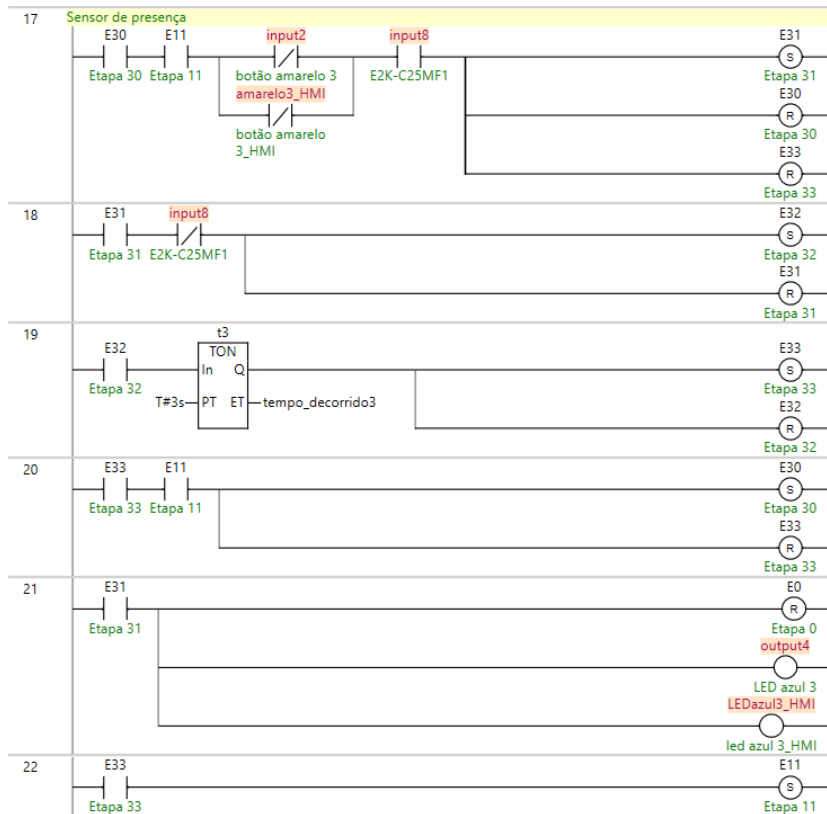


Figura 140 - Resolução do exc. 5 - Alternativa 2 - Sensor de presença (Ladder)

As condições e as linhas de código de suporte à programação da HMI definidas na alternativa 1, apresentadas na Figura 135 e Figura 136, são também aplicadas nesta resolução. Nesta implementação, atribuiu-se, igualmente, a função de comando de abertura (OPEN) ao botão verde, a de comando de fecho (CLOSE) ao botão vermelho e a de paragem (STOP) ao botão amarelo. O sensor que foi associado ao sensor de presença foi o E2K-C25MF1.

A Figura 141 apresenta a janela criada para o Exercício 5, tanto para a alternativa 1, como para a 2.



Figura 141 - Exercício 5- Alternativa 1 e 2 (HMI)

Para a programação deste exercício, foram utilizados três componentes do tipo 'Definição de Estado de Bits' e quatro componentes do tipo 'Luz de Estado de Bits', destinados a representar,

respetivamente, três botões e quatro LEDs. Adicionalmente, foi criado um novo 'Bitmap' com a imagem de um retângulo cinzento, com o objetivo de posicionar dois desses elementos para delimitar a zona do portão, simulando um muro.

A simulação do movimento do portão foi realizada através de um componente do tipo 'Animação', utilizando como gráfico um 'Bitmap' criado a partir da imagem de um portão. À semelhança do Exercício 3, o movimento ocorre apenas no eixo X, sendo considerados, na programação em Ladder, os valores correspondentes à posição do portão totalmente aberto e totalmente fechado, de modo que o portão só corra dentro dos limites estabelecidos pelos retângulos cinzentos.

As condições adicionais criadas no Ladder, com o objetivo de apoiar a programação da interface, estão apresentadas na Figura 136 e correspondem às mesmas utilizadas na Alternativa 2 do Exercício 5.

O gráfico 'CLOSE' faz mudar a janela para o Ecrã de Exercícios, ao qual foi adicionado uma 'Tecla de Função' que garante a mudança de janela para o Exercício 3 (Figura 154).

A Figura 142 apresenta a lista de variáveis utilizadas na programação da interface.

verde3_HMI	BOOL		%W0.08
amarelo3_HMI	BOOL		%W0.09
vermelho3_HMI	BOOL		%W0.10
LEDverde3_HMI	BOOL		%W100.10
LEDamarelo3_HMI	BOOL		%W100.11
LEDvermelho3_HMI	BOOL		%W100.12
LEDazul3_HMI	BOOL		%W100.13
mov_portão	INT		%W10
PCA_HMI	BOOL		%W51.00
PCF_HMI	BOOL		%W51.01

Figura 142 – Variáveis utilizadas na programação da interface – Exercício 5

2.8. Exercício 6 - “Controlo de nível num reservatório”

A Figura 143 apresenta o Grafcet que descreve o controlo de nível de um reservatório, enquanto a Figura 144 apresenta o Grafcet referente ao botão OFF, que desativa todo o sistema.

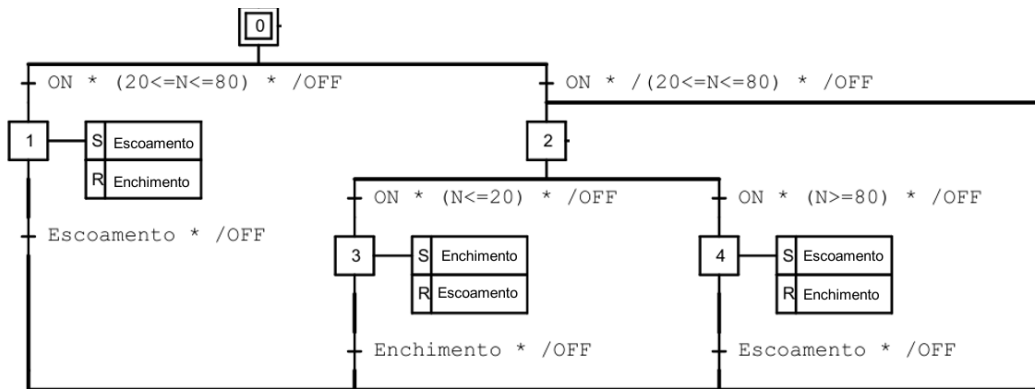


Figura 143 – Resolução do exercício 6 (Grafcet)

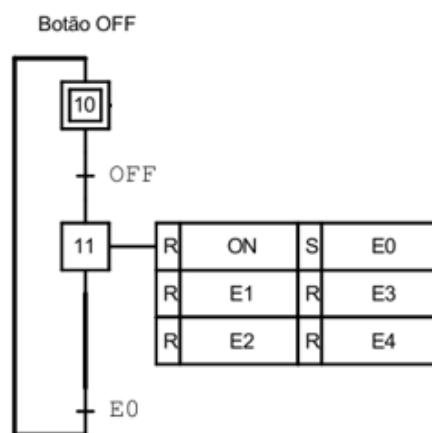


Figura 144 - Resolução do exercício 6 - Botão OFF (Grafcet)

A implementação em Ladder do Grafcet apresentado na Figura 143 está dividida em duas partes: a primeira, representada pela Figura 145 e a segunda, representada pela Figura 146.

Na linha 0 garante-se que quando o programa inicia as etapas 0 e 10 estão ativas, enquanto nas linhas 1 e 2 transforma-se a variável externa **entrada_analógica** na variável interna **SN** e converte-se os valores de entrada, dados pelo potenciômetro, em valores de saída, expressos em percentagem, respetivamente.

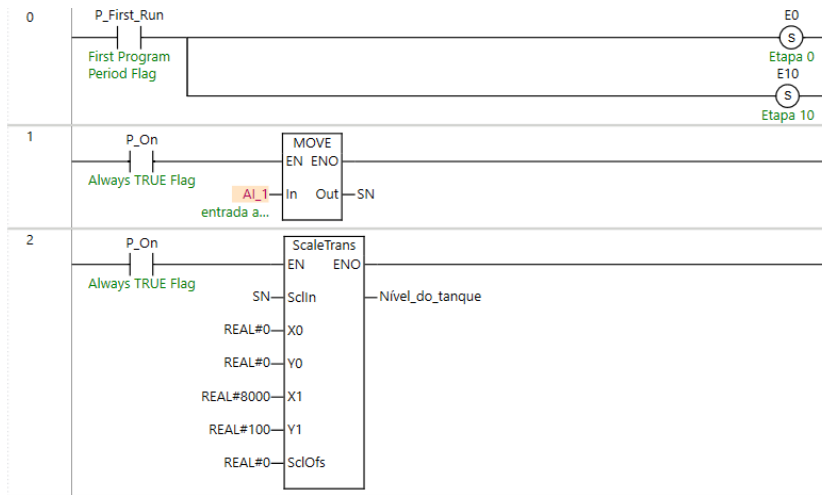


Figura 145 - Resolução do exercício 6 - Scaling (Ladder)

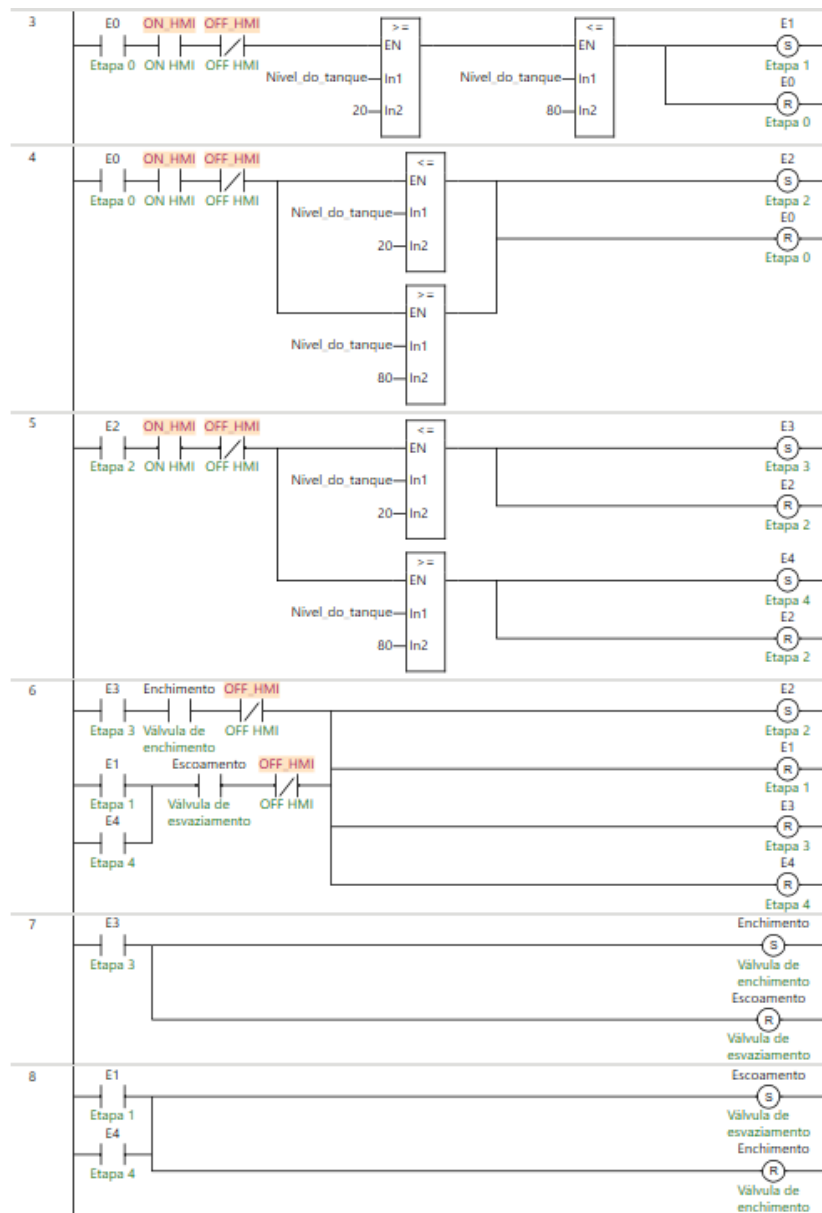


Figura 146 - Resolução do exercício 6 (Ladder)

As linhas de código apresentadas na Figura 147 representam a conversão da variável interna **Nível do tanque** em duas variáveis externas: **saída_analógica** que será apresentada num voltímetro digital e **Nível_HMI**, que será usada na programação da interface HMI.

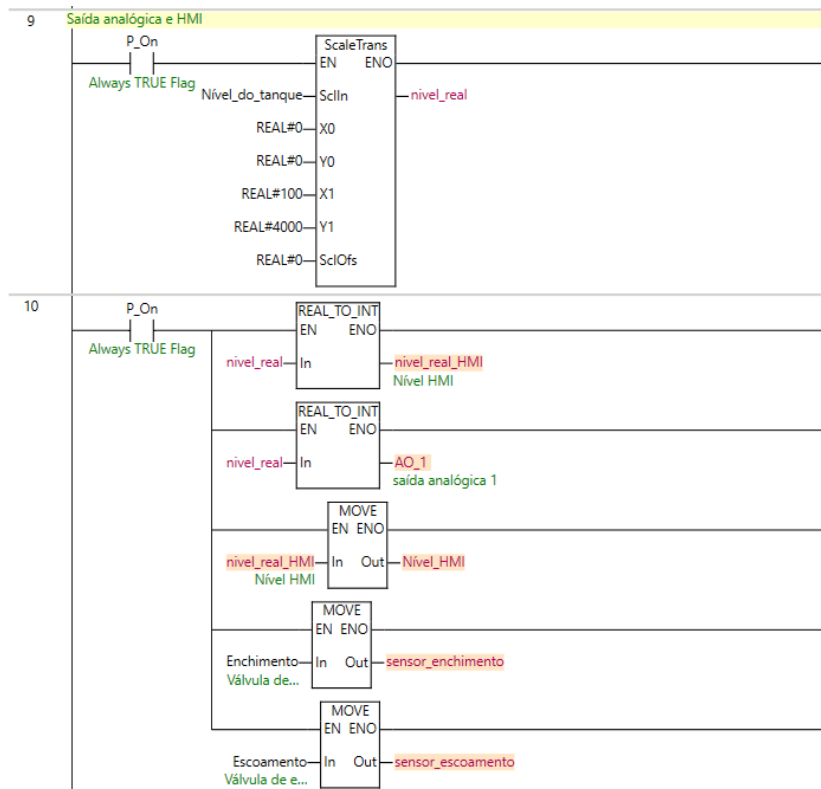


Figura 147 - Resolução do exercício 6 - Saída analógica e HMI (Ladder)

A implementação em Ladder do Grafcet apresentado na Figura 144 está representada na Figura 148.

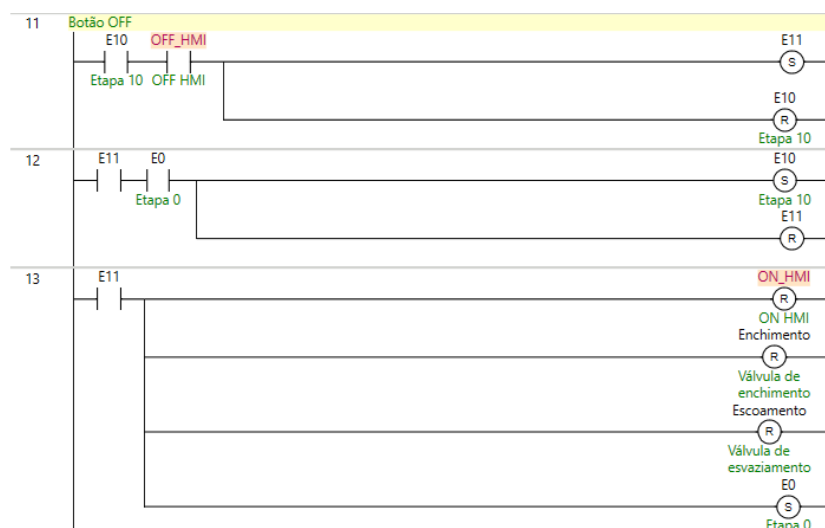


Figura 148 - Resolução do exercício 6 - Botão OFF (Ladder)

A Figura 149 apresenta a janela criada para o Exercício 6.

Para a programação deste exercício foram utilizadas duas peças do tipo 'Definição de estado de Bits', para representar dois botões, um gráfico de barras, para simular o reservatório e duas

componentes de apresentação de alarme, que servem para dar indicação de “válvula de enchimento ativa” (AD0) e “válvula de escoamento ativa” (AD1).

O gráfico de barras foi criado através do componente 'Imagem de Barra', disponível no menu **Peças de PLC**. À barra foi associado, como endereço de leitura, a variável *Nível_HMI*, previamente criada no Sysmac Studio.

No menu **Barra**, foram definidos os limites mínimo e máximo, bem como as cores da barra, conforme ilustrado na Figura 150. Já no menu **Escala**, configuraram-se as características da escala, tal como representado na Figura 151.

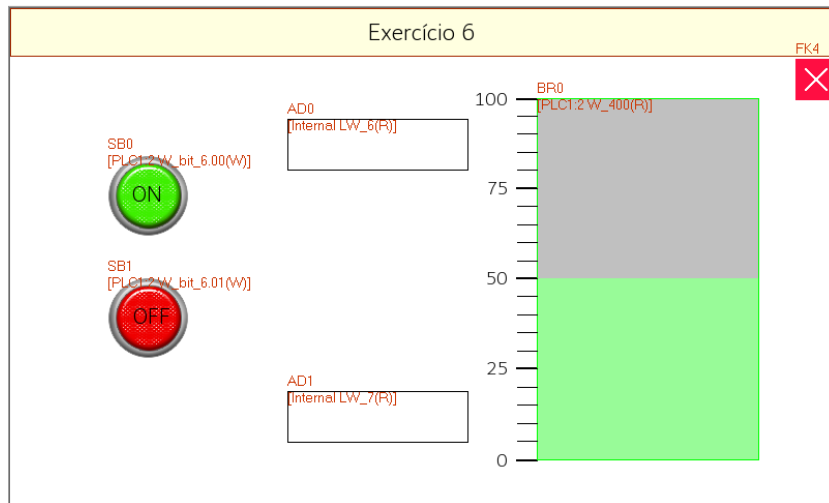


Figura 149 - Exercício 6 (HMI)

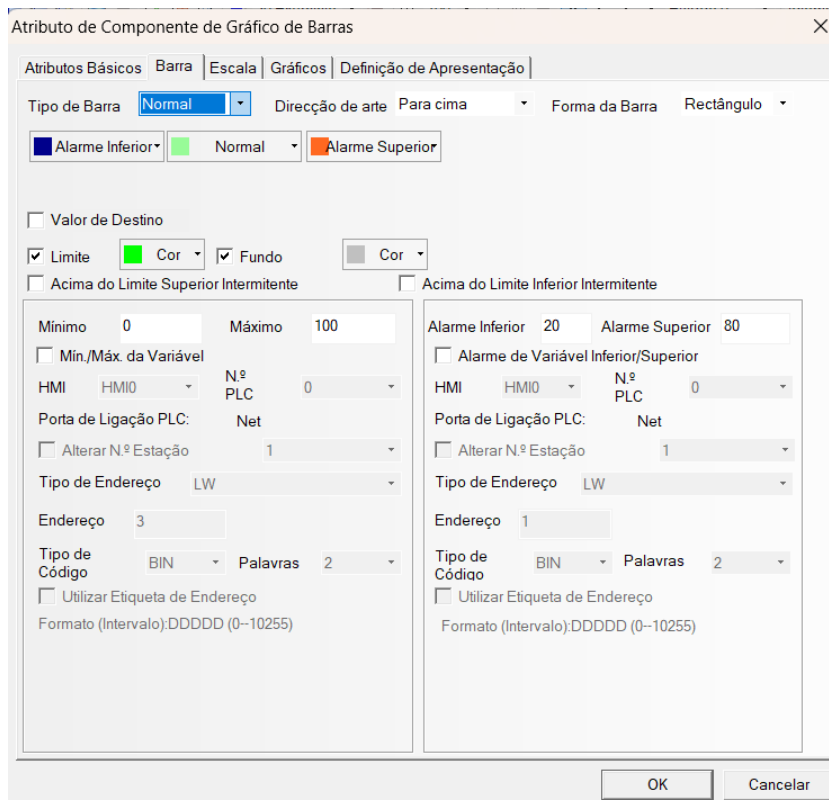


Figura 150 – Barra (Gráfico de barras)

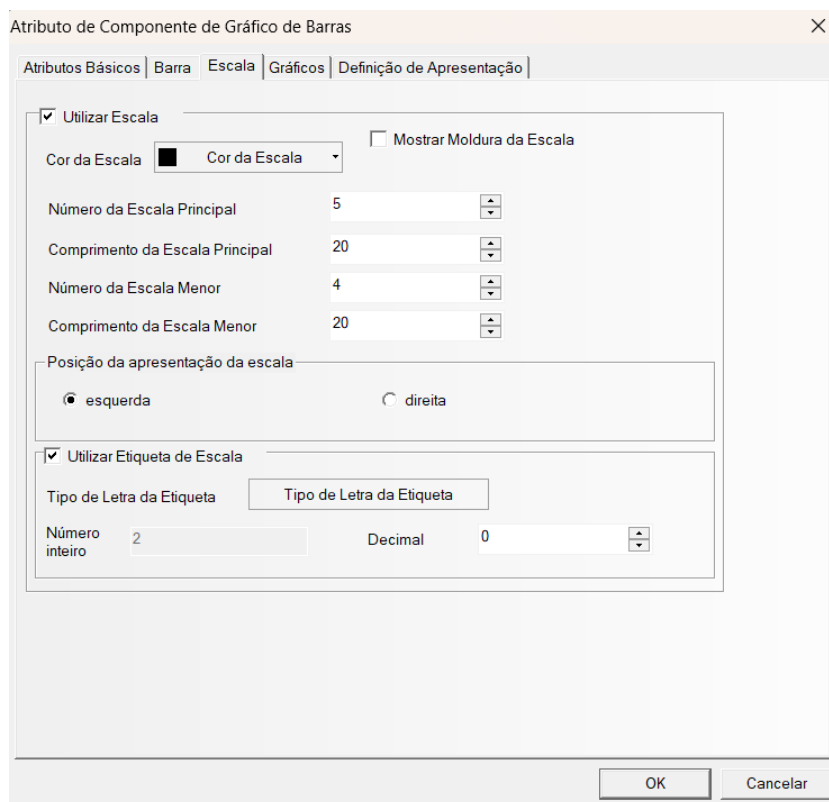


Figura 151 - Escala (Gráfico de barras)

Os dois alarmes criados estão associados às variáveis *sensor_enchimento* e *sensor_escoamento* previamente criadas no Sysmac Studio. A Figura 152 mostra os dois alarmes na lista de 'Acesso a Informações de Alarme'.

2	0	0	HMI0:PLC1:2	W_bit:6.02	On	Válvula de enchimento ativa
3	0	0	HMI0:PLC1:2	W_bit:6.03	On	Válvula de escoamento ativa

Figura 152 - Alarmes (Exc. 6)

O gráfico 'CLOSE' faz mudar a janela para o Ecrã de Exercícios, ao qual foi adicionado uma 'Tecla de Função' que garante a mudança de janela para o Exercício 6 (Figura 154).

A Figura 153 apresenta a lista de variáveis utilizadas na programação da interface.

Nível_HMI	INT	REAL	%W400
nivel_real_HMI	INT		%W60
ON_HMI	BOOL		%W6.00
OFF_HMI	BOOL		%W6.01
sensor_enchimento	BOOL		%W6.02
sensor_escoamento	BOOL		%W6.03

Figura 153 – Variáveis utilizadas na programação da interface – Exercício 6

A Figura 154 apresenta a janela Ecrã de exercícios com todas as teclas de função respetivas a cada exercícios.

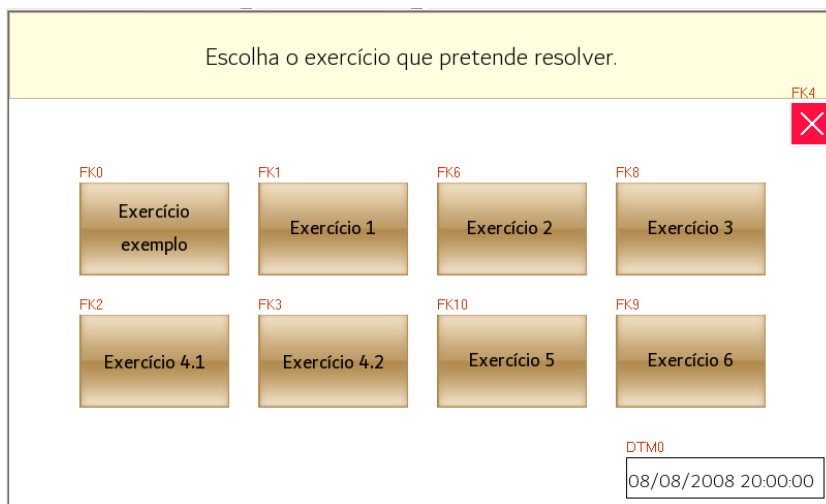


Figura 154 - Ecrã de exercícios (completo)

REFERÊNCIAS

- [1] F. da Silva *et al.*, “Automação II 5-Programação em Linguagem Ladder Automação II 3º Ano / 2º Semestre-Licenciatura em Engenharia Mecânica,” 2022.
- [2] F. da Silva, A. A. Santos, P. Frutuoso, J. Alturas, and F. Pereira, “Trabalhos Práticos-AUTOMAÇÃO II,” 2022.
- [3] Filipe Pereira and Adriano Santos, “Sebenta de exercícios de AUTCI,” 2023.

APÊNDICE C

Apêndice D

Montagem da bancada didática























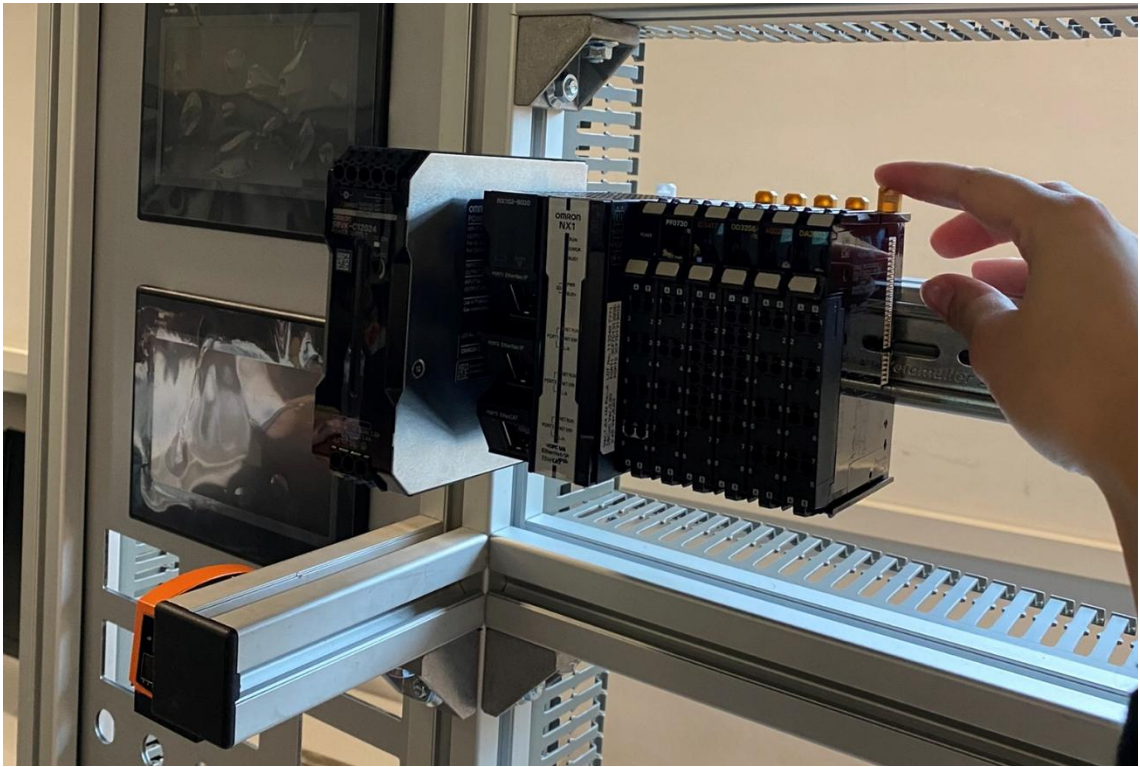




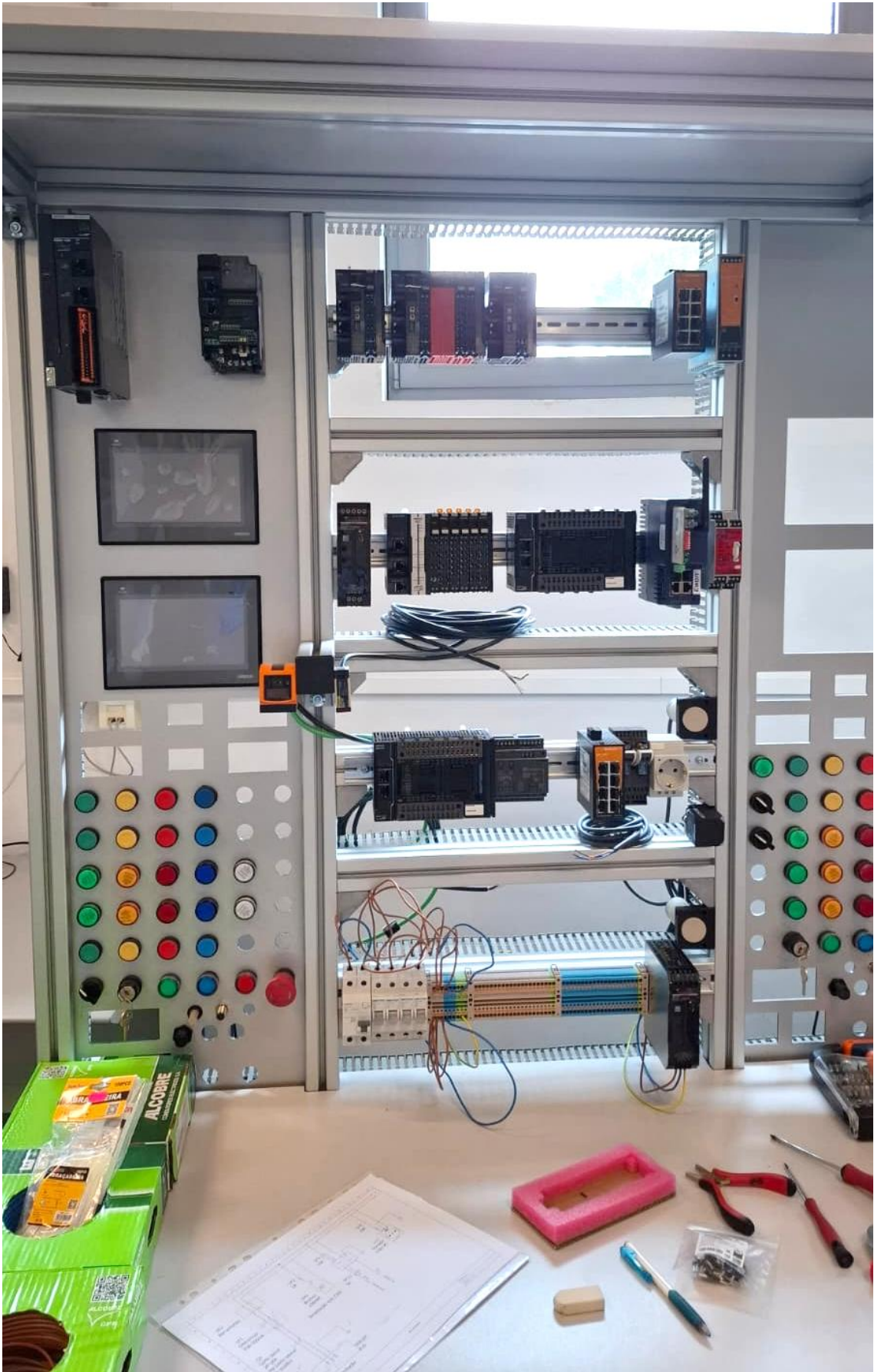
Integração dos componentes e instalação elétrica

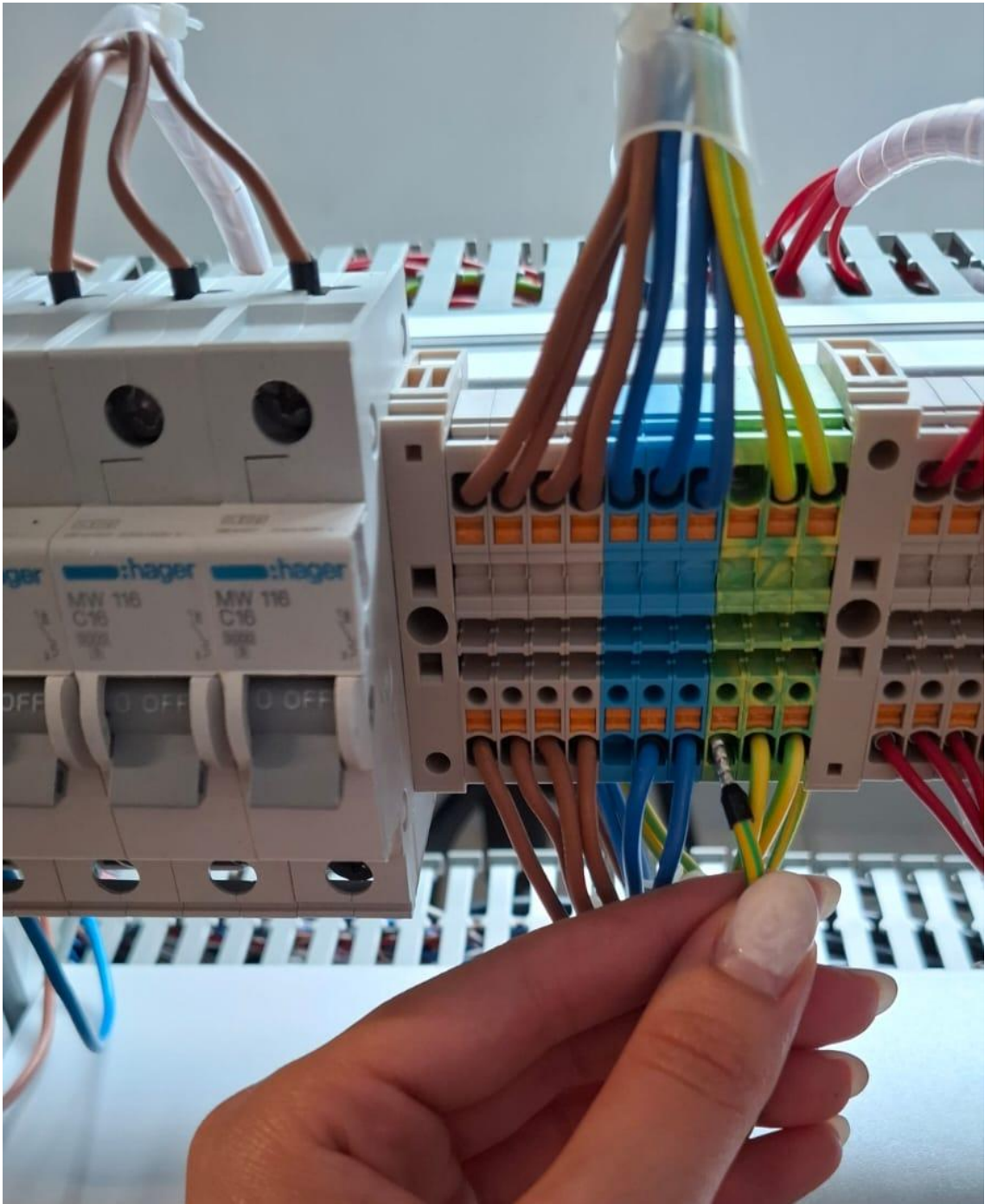


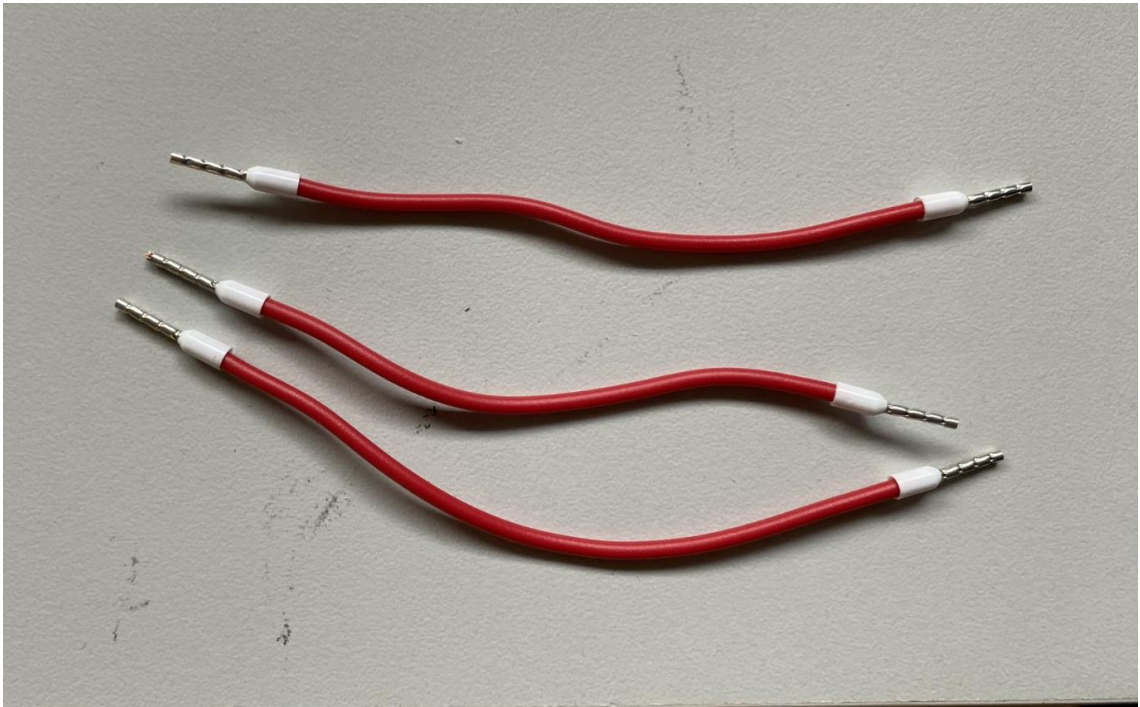


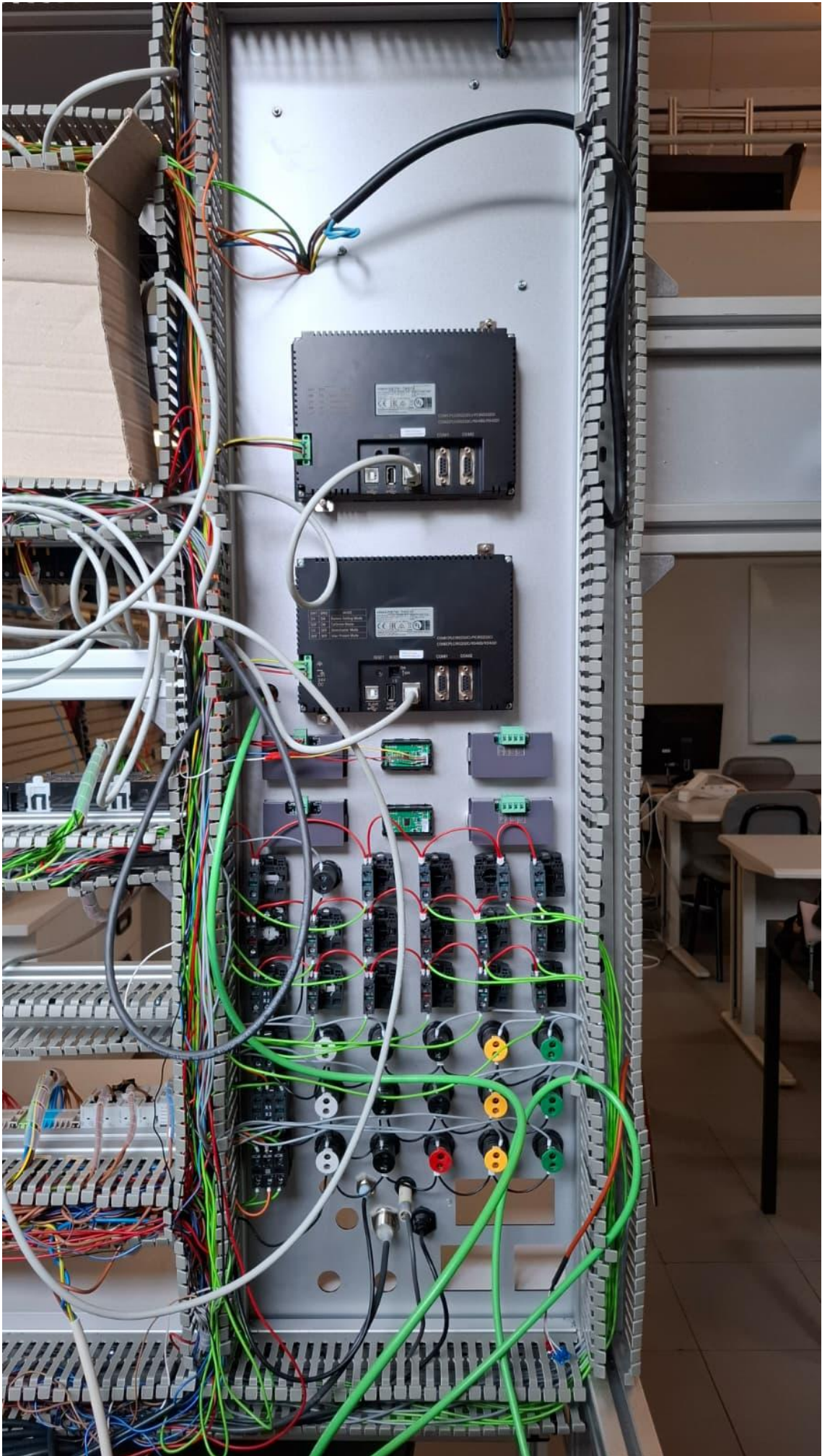


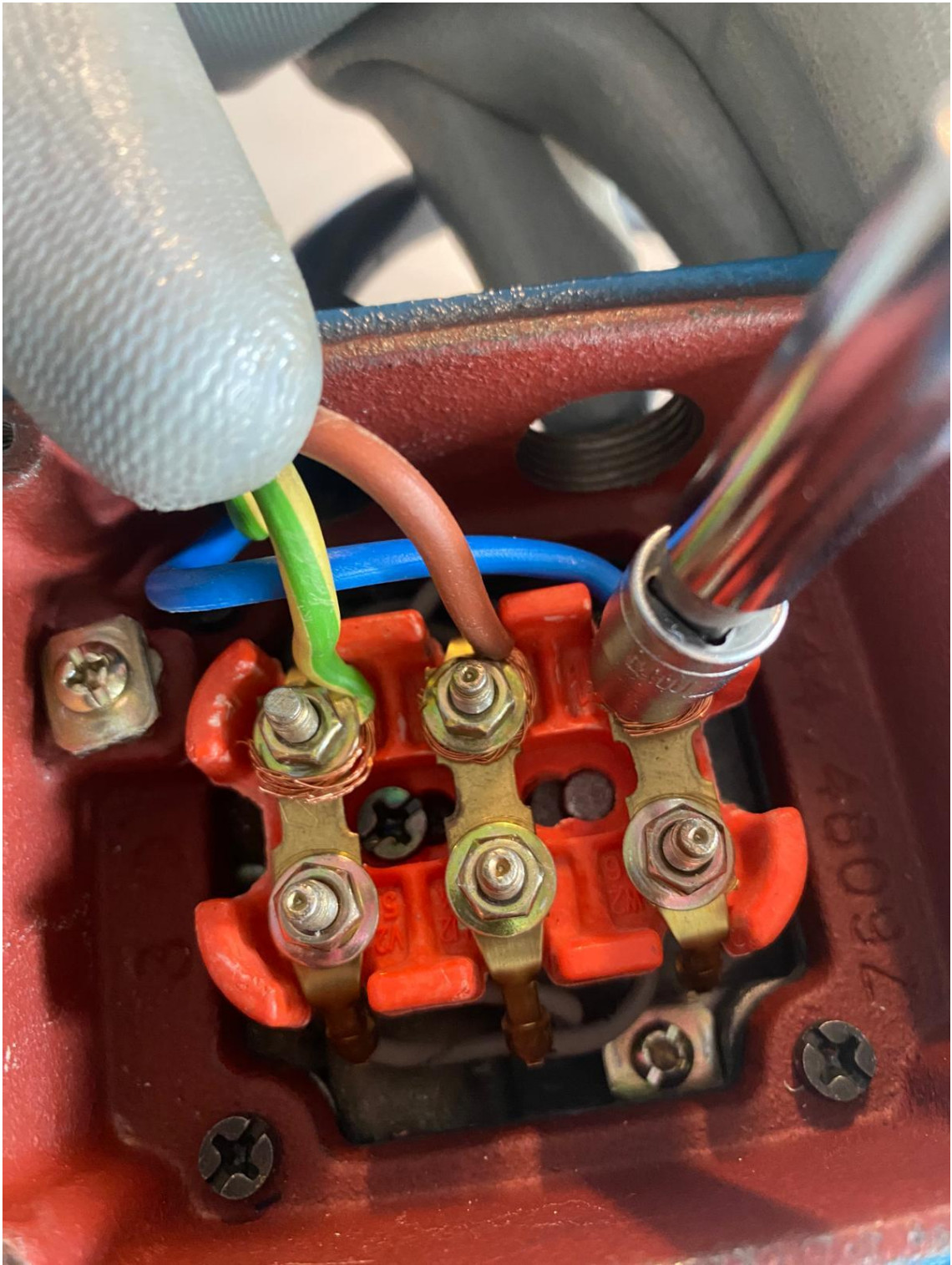






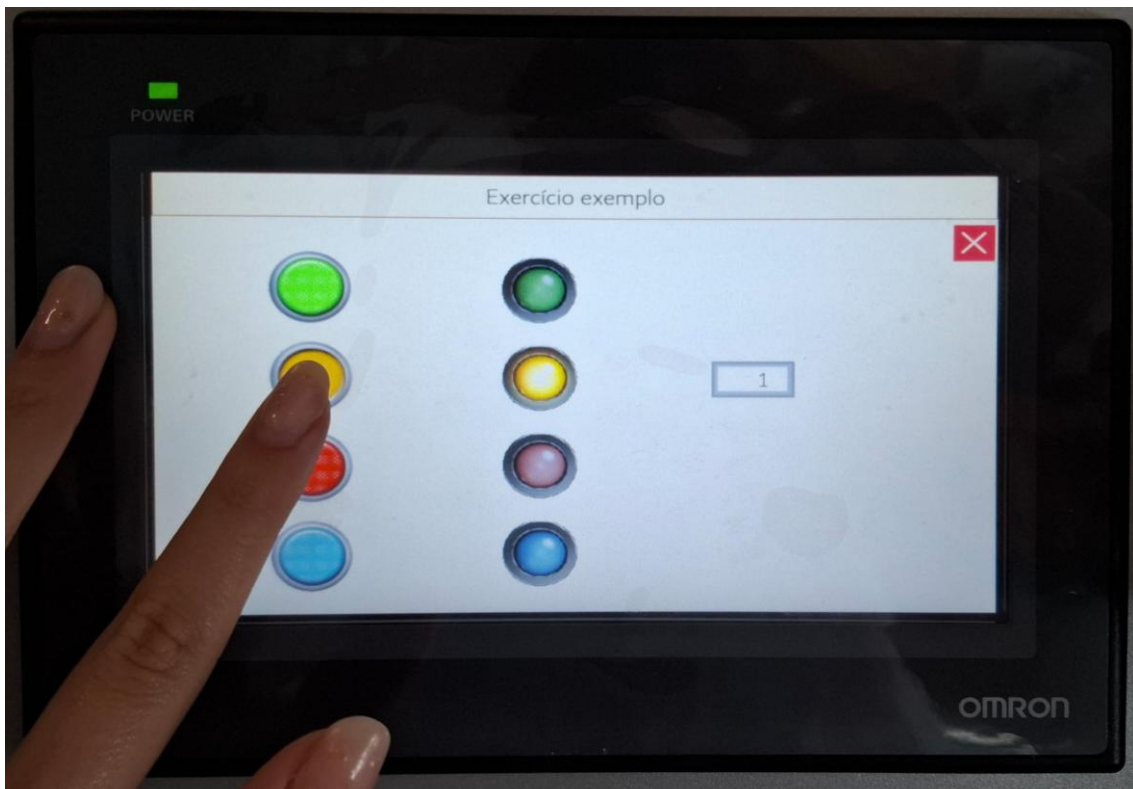
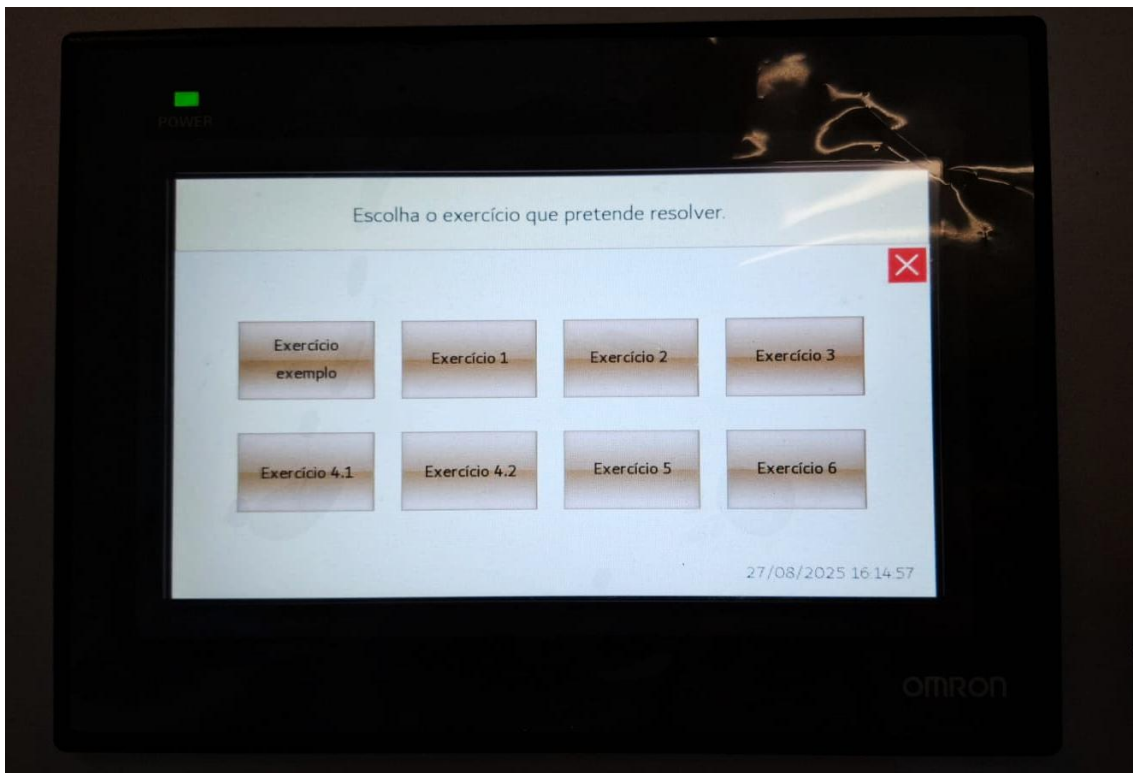


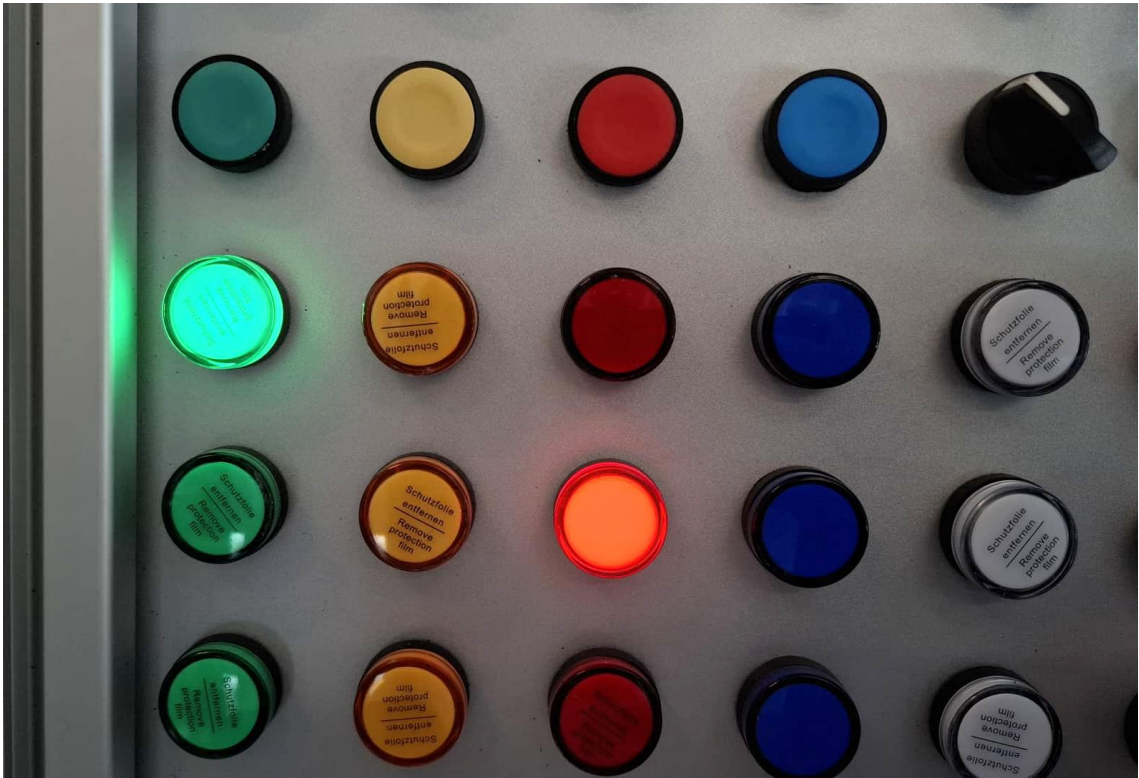






Verificação do funcionamento





Apêndice E

Desenvolvimento de um sistema de aprendizagem em automação industrial

Questionário de Avaliação em automação industrial

1. **Idade:** _____
2. **Qual o seu nível de experiência com automação industrial antes dos exercícios?**
 - Nenhum
 - Básico
 - Intermédio
 - Avançado

Organização da atividade

3. **Considera que os objetivos dos exercícios práticos foram apresentados com clareza?**
 - Sim
 - Não
 - Parcialmente
4. **Em que medida considera que o material e as instruções fornecidas foram suficientes para compreender e concluir os exercícios?**
 - Nada suficientes
 - Pouco suficientes
 - Suficientes
 - Muito suficientes
 - Totalmente suficientes
5. **Avalie o quão claras foram as explicações fornecidas.**
 - Nada claras
 - Pouco claras
 - Claras
 - Muito claras
 - Totalmente claras

Conteúdo técnico

6. Assinale os exercícios que resolveu.

- Exc. 1
- Exc. 2
- Exc. 3
- Exc. 4.1
- Exc. 4.2
- Exc. 5 – Alternativa 1
- Exc. 5 – Alternativa 2
- Exc. 6

7. Como avalia a dificuldade dos exercícios?

Exercício 1

- Muito difícil
- Difícil
- Moderada
- Fácil
- Muito fácil

Exercício 2

- Muito difícil
- Difícil
- Moderada
- Fácil
- Muito fácil

Exercício 3

- Muito difícil
- Difícil
- Moderada
- Fácil
- Muito fácil

Exercício 4.1

- Muito difícil
- Difícil
- Moderada
- Fácil
- Muito fácil

Exercício 4.2

- Muito difícil
- Difícil
- Moderada
- Fácil
- Muito fácil

Exercício 5 – Alternativa 1

- Muito difícil
- Difícil
- Moderada
- Fácil
- Muito fácil

Exercício 5 – Alternativa 2

- Muito difícil
- Difícil
- Moderada
- Fácil
- Muito fácil

Exercício 6

- Muito difícil
- Difícil
- Moderada
- Fácil
- Muito fácil

8. Considera que elaborar o Grafcet antes de programar em Ladder facilita a resolução dos exercícios?

- Sim, considero que a elaboração do Grafcet ajuda muito
- Não, considero mais fácil implementar logo o Ladder

9. **Considera que o Sysmac Studio foi fácil de usar?**

- Sim
- Não
- Neutro

10. **Houve dificuldades técnicas com o PLC?**

- Sim, não foi possível resolver os exercícios
- Sim, mas foram resolvidas rapidamente
- Não

11. **Considera que a utilização da HMI facilitou a compreensão dos exercícios?**

- Sim
- Não
- Neutro

12. **Houve algum aspeto dos exercícios que considerou especialmente difícil ou confuso?**

Se sim, qual?

Desenvolvimento pessoal

13. **Como avalia a utilidade dos exercícios práticos para a sua aprendizagem em automação industrial?**

- Nada úteis
- Pouco úteis
- Neutro
- Úteis
- Muito úteis

14. **Em que medida considera que os exercícios foram desafiantes para si?**

- Nada desafiantes
- Desafiantes
- Muito desafiantes

15. **Em que medida considera que os exercícios práticos contribuíram para o seu entendimento em automação industrial?**

- Não contribuíram nada
- Contribuíram pouco
- Contribuíram muito

16. **Avalie o quanto os exercícios práticos melhoraram a sua confiança na área de automação industrial.**

- Diminuíram muito
- Diminuíram um pouco
- Mantiveram
- Aumentaram
- Aumentaram muito

17. **Avalie o quanto se sente capaz de programar um sistema simples após a atividade.**

- Nada capaz
- Pouco capaz
- Capaz
- Muito capaz
- Totalmente capaz

Ergonomia e envolvimento emocional

18. **Como classificaria a ergonomia e o conforto da bancada?**

- Muito pouco ergonómica e confortável
- Pouco ergonómica e confortável
- Ergonómica e confortável
- Muito ergonómica e confortável

19. **Que parte dos exercícios práticos lhe despertou mais interesse ou lhe pareceu mais útil?**

20. Gostaria de sugerir melhorias para os próximos exercícios práticos? Se sim, quais?

21. De modo geral, quão interessante considera a sua participação nesta atividade?

- Nada interessante
- Pouco interessante
- Neutro
- Interessante
- Muito interessante

22. Gostaria de realizar outras atividades práticas sobre automação industrial no futuro?

- Sim
- Não
- Talvez

23. Gostaria de acrescentar algum comentário ou feedback sobre a atividade?

Glossário

Cobot

Robôt colaborativo.

IDE

Software que integra as principais ferramentas de desenvolvimento, oferecendo uma interface única que facilita o trabalho do programador

MES

Sistema de controlo de produção usado para monitorar as operações no chão de fábrica em tempo real.