



**isec**  
**Engenharia**

MESTRADO EM ENGENHARIA  
ELETROTÉCNICA

**Automação e Robótica em Soldadura  
Industrial**

Autor

**Tiago Gonçalves Guimarães**

Orientadores

**Doutor João Paulo Morais Ferreira**

**Doutor Victor Daniel Neto dos Santos**

Coimbra, julho, 2020

DEFINITIVO

INSTITUTO POLITÉCNICO  
DE COIMBRA

INSTITUTO SUPERIOR  
DE ENGENHARIA  
DE COIMBRA



# isec

## Engenharia

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA  
ELETROTÉCNICA

### **Automação e Robótica em Soldadura Industrial**

Relatório de Estágio de Natureza Profissional para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Eletrotécnica

Especialização em Automação e Comunicações em Sistemas Industriais

Autor

**Tiago Gonçalves Guimarães**

Orientadores

**Doutor João Paulo Morais Ferreira**

**Doutor Victor Daniel Neto dos Santos**

Supervisor na empresa Paka Robotics

**Engenheiro João Pedro Moreira da Cunha**

INSTITUTO POLITÉCNICO  
DE COIMBRA

INSTITUTO SUPERIOR  
DE ENGENHARIA  
DE COIMBRA

Coimbra, julho, 2020

## **AGRADECIMENTOS**

O presente relatório de estágio, resultou de um trajeto longo e não linear, impulsionado por pessoas que me apoiaram e motivaram de alguma forma ao longo deste trajeto.

Gostaria de agradecer aos meus orientadores, Professor Doutor João Paulo Morais Ferreira e Professor Doutor Victor Daniel Neto dos Santos pela orientação prestada ao longo do estágio de mestrado, resultando na elaboração deste relatório.

A toda a equipa na qual fui inserido, ao meu supervisor na empresa, Engenheiro João Cunha, por todos os conselhos e pelo tempo despendido na passagem de conhecimentos necessários para a realização das funções exigidas.

À Paka Robotics, pela excelente receção nas suas instalações e pela oportunidade de trabalhar em projetos que contribuíram, sem dúvida, para o meu crescimento como pessoa e profissional.

Aos meus colegas, que partilharam todas as adversidades do percurso académico e que sempre ajudaram e motivaram para a conclusão deste capítulo.

À Mariana, pelo apoio constante em todas as diferentes fases desta etapa.

Quero também agradecer à minha família e, especialmente aos meus pais, que acreditaram em mim e que me proporcionaram a oportunidade de terminar o Mestrado em Engenharia Eletrotécnica.

## RESUMO

O presente relatório tem como objetivo descrever as tarefas efetuadas durante o estágio curricular do curso de Mestrado em Engenharia Eletrotécnica, na área da Automação e Comunicações em Sistemas Industriais, lecionado pelo Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, pertencente ao Instituto Politécnico de Coimbra.

O estágio teve como empresa de acolhimento a Paka Robotics, empresa pertencente à Paka Group, a qual permitiu a aplicação de conhecimentos e competências adquiridas ao longo do percurso académico em áreas de implementação e gestão de projeto como de programação de autómatos, HMI e manipuladores industriais e um contacto direto com a realidade do mercado de trabalho nesta área.

Durante o estágio participei em todas as etapas do processo de criação das máquinas produzidas na empresa através da implementação dos projetos mecânicos e, principalmente, projetos elétricos realizados pelas equipas responsáveis. A programação dos PLC e HMI, das diferentes máquinas acompanhadas, foi realizada inserida na equipa da empresa, tendo tido um papel de aprendizagem importante. Numa segunda fase surgiu a oportunidade de participar numa tarefa de maior responsabilidade, que consistiu na programação do PLC e HMI de uma única máquina. O acompanhamento e realização de diferentes funções de programação e processos como a verificação de segurança dos operadores e a implementação do projeto elétrico fornecido, resultaram num aprofundamento e desenvolvimento de conhecimentos em diferentes áreas, nomeadamente: instalações e projetos elétricos; programação de PLC Siemens e manipuladores industriais Panasonic; tipos de soldadura; protocolos de comunicação e sistemas de segurança.

Este estágio proporcionou uma experiência bastante enriquecedora, uma vez que se traduziu numa boa integração, numa equipa experiente e disposta a complementar conhecimentos com a supervisão e colaboração na implementação de conhecimentos adquiridos, como novos métodos e técnicas de trabalho aplicados na indústria.

**Palavras-Chave:** Automação; Estágio; Engenharia eletrotécnica; Paka Robotics; Projeto; Controlo; Soldadura; Interface; Segurança.

## ABSTRACT

This report aims to describe the tasks performed during the curricular internship of the Master's degree in Electrical Engineering, in the area of Automation and Communications in Industrial Systems, taught by the Coimbra Institute of Engineering, belonging to the Polytechnic Institute of Coimbra.

The internship was attended by Paka Robotics, a company belonging to Paka Group, which allowed the application of knowledge and skills acquired throughout the academic career in areas of implementation and project management such as programming of PLC, HMI and industrial manipulators and a direct contact with the reality of the labor market in this area.

During the internship I participated in all stages of the process of creating the machines produced in the company through the implementation of mechanical projects and, mainly, electrical projects carried out by the teams responsible. The programming of the PLC and HMI, of the different machines monitored, was carried out inserted in the company's team, having had an important learning role. In a second phase, the opportunity arose to participate in a task of greater responsibility, which consisted of programming the PLC and HMI of a single machine. The monitoring and performance of different programming functions and processes such as the safety check of operators and the implementation of the electrical project provided, resulted in a deepening and development of knowledge in different areas ranging from electrical installations and projects, programming of Siemens PLC and Panasonic industrial manipulators, welding types, communication protocols and security systems.

This internship provided a very enriching experience, since it resulted in a good integration, in an experienced and willing team to complement knowledge with supervision and collaboration in the implementation of acquired knowledge, including new methods and techniques of work applied in the industry.

**Keywords:** Automation; Internship; Electrical engineering; Paka Robotics; Project; Control; Welding; Interface; Safety.

## ÍNDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
1.1	ENQUADRAMENTO	1
1.2	PAKA GROUP	1
1.2.1	<i>Paka Robotics</i>	1
1.2.2	<i>Paka Services</i>	2
1.3	OBJETIVOS	2
1.4	PLANO DE ESTÁGIO	3
1.5	ESTRUTURA DO RELATÓRIO	3
<b>2</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA</b>	<b>5</b>
2.1	MÉTODOS DE SOLDADURA	6
2.1.1	<i>Processo de Soldadura TIG</i>	7
2.1.2	<i>Processo de Soldadura MIG e MAG</i>	10
2.2	AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL	13
2.2.1	<i>Automação Fixa</i>	13
2.2.2	<i>Automação Programável</i>	14
2.2.3	<i>Automação Flexível</i>	14
2.3	SISTEMAS DE REDUNDÂNCIA E SEGURANÇA	14
2.3.1	<i>Programmable Logic Controller (PLC)</i>	14
2.3.2	<i>Human Machine Interface (HMI) / Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA)</i>	18
2.4	ROBÓTICA	20
2.4.1	<i>Manipuladores Industriais</i>	21
2.5	SISTEMAS DE SEGURANÇA	23
2.6	CONCLUSÕES DO CAPÍTULO	24
<b>3</b>	<b>PROJETO DESENVOLVIDO</b>	<b>25</b>
3.1	MANIPULADOR	28
3.1.1	<i>Posicionadores</i>	30
3.1.2	<i>Consola de Controlo</i>	34
3.2	PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER (PLC)	36
3.2.1	<i>Segurança e Redundância</i>	38
3.2.2	<i>Software de Monitorização e Configuração</i>	39
3.2.3	<i>Programação do Autómato</i>	43
3.2.4	<i>Human Machine Interface (HMI)</i>	46
3.2.5	<i>Segurança Implementada</i>	58
3.3	CONCLUSÕES DO CAPÍTULO	61
<b>4</b>	<b>TESTES</b>	<b>63</b>
4.1	TESTES DAS FUNÇÕES REALIZADAS NO PLC	63

4.2	TESTES DAS ROTINAS DO MANIPULADOR .....	64
4.3	TESTES DE SEGURANÇA DA MÁQUINA .....	64
4.4	CONCLUSÕES DO CAPÍTULO .....	65
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>67</b>
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>69</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.1: PERSPETIVA ESQUEMÁTICA DA SOLDADURA TIG [6].	7
FIGURA 2.2: (A) MODO DE SOLDADURA DCEN; (B) MODO DE SOLDADURA DCEP [7].	8
FIGURA 2.3: GRÁFICO DE CORRENTE PARA FONTE PULSADA [8].	9
FIGURA 2.4: PERSPETIVA ESQUEMÁTICA DA SOLDADURA MIG [6].	11
FIGURA 2.5: RELAÇÃO DE PENETRAÇÃO DA SOLDA COM A CORRENTE E TENSÃO DE ARCO VARIÁVEIS [9].	12
FIGURA 2.6: RELAÇÃO ENTRE OS TIPOS DE AUTOMAÇÃO [10].	13
FIGURA 2.7: ESTRUTURA INTERNA DE UM PLC [12].	16
FIGURA 2.8: ARQUITETURA DE AVALIAÇÃO 1oo2D [14].	17
FIGURA 2.9: ARQUITETURA DE UM SISTEMA COM IMPLEMENTAÇÃO DE SCADA E HMI [18].	19
FIGURA 2.10: CLASSIFICAÇÃO DOS VÁRIOS TIPOS DE APLICAÇÕES ROBÓTICAS, ADAPTADO DE [19].	20
FIGURA 2.11: RELAÇÃO DE GRAUS DE LIBERDADE DE UM BRAÇO HUMANO E UM BRAÇO ROBÓTICO [21].	21
FIGURA 2.12: ROBÔ PARA SOLDADURA PANASONIC TM SERIES [23].	23
FIGURA 3.1: MÁQUINA COM DOIS LADOS DE OPERAÇÃO E MANIPULADOR SOBRE CARRIL [1].	25
FIGURA 3.2: MÁQUINA UM LADO DE OPERAÇÃO COM MESA H DE OPERAÇÃO E DOIS ROBÔS [1].	26
FIGURA 3.3: MÁQUINA UM LADO DE OPERAÇÃO COM PORTA ALBANY [1].	26
FIGURA 3.4: MÁQUINA PARA SOLDADURA DESENVOLVIDA NO ESTÁGIO [1].	27
FIGURA 3.5: VISTA SUPERIOR DA MÁQUINA [1].	27
FIGURA 3.6: MANIPULADOR PANASONIC TM-1800 POSICIONADO NA MÁQUINA.	28
FIGURA 3.7: VISTA LATERAL DA MÁQUINA [1].	30
FIGURA 3.8: TAMAGAWA TBL-1 III SERIES [26].	30
FIGURA 3.9: POSICIONADOR PANASONIC RJB22.	31
FIGURA 3.10: DIAGRAMA DE LIGAÇÃO DO MANIPULADOR E POSICIONADORES COM O QUADRO CONTROLADOR.	32
FIGURA 3.11: MÓDULO CONTROLADOR DE EIXOS EXTERNOS.	32
FIGURA 3.12: MÓDULO CONTROLADOR DO MANIPULADOR.	33
FIGURA 3.13: TRANSFORMADOR TRIFÁSICO DO QUADRO CONTROLADOR DE EIXOS.	33
FIGURA 3.14: PANASONIC G3 TEACH PENDANT [23].	34
FIGURA 3.15: EXCERTO DO PROGRAMA DE ROTINA DE LIMPEZA DA TOCHA DO MANIPULADOR.	35
FIGURA 3.16: PLC SIMATIC S7-1200 CPU 1214FC DC/DC/DC.	36
FIGURA 3.17: VISTA GERAL QUADRO ELÉTRICO [1].	37
FIGURA 3.18: VISTA GERAL DO AMBIENTE DE TRABALHO DO SOFTWARE TIA PORTAL V15.	39
FIGURA 3.19: VISTA GERAL DO AMBIENTE DE CONFIGURAÇÃO DOS AUTÓMATOS.	40
FIGURA 3.20: PASTA <i>PROGRAM BLOCKS</i> LISTADA.	41
FIGURA 3.21: F-RUNTIME GROUP.	42
FIGURA 3.22: EXCERTO DA FUNÇÃO DE INÍCIO DE CICLO DE OPERAÇÃO NA ZONA A.	44
FIGURA 3.23: GRAFCET MODO AUTOMÁTICO MÁQUINA DE DOIS LADOS DE OPERAÇÃO.	45
FIGURA 3.24: HMI KTP700 BASIC PN.	46
FIGURA 3.25: INTERLIGAÇÃO ENTRE SIMATIC S7-1200 E O HMI KTP700 BASIC PN.	47

FIGURA 3.26: BOTONEIRA DE CONTROLO IMPLEMENTADA NA LATERAL DO QUADRO ELÉTRICO [1]. .....	47
FIGURA 3.27: POSSIBILIDADE DE COLOCAÇÃO DO OP NA PARTE FRONTAL DA MÁQUINA [1]. ....	48
FIGURA 3.28: MENU INICIAL [1]. .....	49
FIGURA 3.29: MENU SELETOR [1]. .....	49
FIGURA 3.30: MENU MOVIMENTOS MANUAIS PORTAS PNEUMÁTICAS [1]. .....	50
FIGURA 3.31: MENU DE MONITORIZAÇÃO DE PRODUÇÃO [1]. .....	51
FIGURA 3.32: MENU DE SELEÇÃO DE SERVIÇOS [1]. .....	52
FIGURA 3.33: ÁREA DA MÁQUINA ONDE SÃO EXECUTADOS: A - <i>TCP CHECK</i> E B- <i>TIP CHANGE</i> . 53	
FIGURA 3.34: MENU SELEÇÃO PROGRAMA LADO A [1]. .....	54
FIGURA 3.35: MENU ESTADOS GERAIS [1]. .....	55
FIGURA 3.36: MENU ESTADOS GERAIS DAS PORTAS PNEUMÁTICAS [1]. .....	56
FIGURA 3.37: MENU ESTADO PARA AUTOMÁTICO [1]. .....	57
FIGURA 3.38: MENU ALARMES [1]. .....	58
FIGURA 3.39: BARREIRAS ÓTICAS SICK [29]. .....	59
FIGURA 3.40: PORTAS PNEUMÁTICAS DE SEGURANÇA. ....	59
FIGURA 3.41: PORTA DE SERVIÇO. ....	60
FIGURA 3.42: BOTONEIRAS DE UMA ZONA DE OPERAÇÃO. ....	60
FIGURA 4.1: FERRAMENTA MONITOR ATIVA NO ALGORITMO DE ABERTURA DA PORTA PNEUMÁTICA DO LADO A. ....	63
FIGURA 4.2: FERRAMENTA MONITOR ATIVA NA TABELA PLC TAGS. ....	64

## ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 2.1: TABELA DE VERDADE EM LÓGICA DE VOTAÇÃO TMR, ADAPTADO DE [16].	18
TABELA 3.1: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DO MANIPULADOR TM-1800 [25].	29
TABELA 3.2: CARACTERÍSTICAS POSICIONADOR RJB22 [23].	31
TABELA 3.3: CARACTERÍSTICAS DO TRANSFORMADOR TRIFÁSICO.	33

## SIMBOLOGIA

**Ampère (símbolo: A)** – Unidade de medida da corrente elétrica do Sistema Internacional de Unidades.

**CO<sub>2</sub>** – Dióxido de Carbono

**Grau Celsius (símbolo: °C)** – Unidade de medida de temperatura.

**Hertz (símbolo: Hz)** – Unidade de frequência do Sistema Internacional de Unidades, para a frequência. É expressa em termos de ciclos por segundo, a frequência de um evento periódico.

**Metro (símbolo: m)** – Unidade de medida do Sistema Internacional de Unidades, para medir comprimentos.

**Quilograma (símbolo: kg)** – Unidade de massa do Sistema Internacional de Unidades.

**Segundo (símbolo: s)** – Unidade de tempo do Sistema Internacional de Unidades, para medir intervalos de tempo.

**Volt (símbolo: V)** – Unidade de tensão elétrica do Sistema Internacional de Unidades que representa a diferença de potencial elétrico entre dois pontos.

**Watt (símbolo: W)** – Unidade de potência do Sistema Internacional de Unidades, é equivalente a um joule por segundo.

## **ABREVIATURAS**

**AC** – *Alternating Current*

**ARM** – *Advanced RISC Machine*

**CAT 5** – *Category 5 Cable*

**CIM** – *Computer Integrated Manufacturing*

**CPU** – *Central Processing Unit*

**DB** – *Data Block*

**DC** – *Direct Current*

**DCEN** – *Direct Current Electrode Negative*

**DCEP** – *Direct Current Electrode Positive*

**DCP** – *Discovery and basic Configuration Protocol*

**DCS** – *Distributed Control System*

**DHCP** – *Dynamic Host Configuration Protocol*

**DVS** – *Digital Voltage Stabilizer*

**FB** – *Function Block*

**FC** – *Function*

**FMR** – *Flexible Modular Redundancy*

**GRAFCET** – *Graphe de Commande Etape-Transition*

**GTAW** – *Gas Tungsten Arc Welding*

**HMI** – *Human Machine Interface*

**I/O** – *Input / Output*

**LLDP** – *Link Layer Discovery Protocol*

**MAG** – *Metal Active Gas*

**MIG** – *Metal Inert Gas*

**OB** – *Organization Block*

**OP** – *Operator Panel*

**PLC** – *Programmable Logic Controller*

**PROFIBUS** – *Process Field Bus*

**PROFINET** – *Process Field Net*

**RISC** – *Reduced Instruction Set Computing*

**RTIEBT** – Regras Técnicas das Instalações Elétricas de Baixa Tensão

**SCADA** – *Supervisory Control And Data Acquisition*

**SFB** – *System Function Block*

**SFC** – *System Function*

**SIS** – *Safety Instrumented Systems*

**SNMP** – *Simple Network Management Protocol*

**TCP/IP** – *Transmission Control Protocol/Internet Protocol*

**TIA Portal** – *Totally Integrated Automation Portal*

**TIG** – *Tungsten Inert Gas*

**TMR** – *Triple Modular Redundancy*



# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Enquadramento

O presente Relatório de Estágio surge no âmbito da unidade curricular de Estágio do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica na área de especialização em Automação e Comunicações em Sistemas Industriais.

O estágio foi realizado na empresa Paka Robotics, pertencente à Paka Group, e decorreu entre os meses de outubro de 2019 e julho de 2020, incidindo principalmente na montagem e programação de soluções de automação e robótica para soldadura industrial.

## 1.2 Paka Group

A Paka Group [1], fundada em 2008 por uma equipa de profissionais do sector da robótica industrial com cerca de 35 anos de experiência, executa a conceção e fabricação de equipamentos robotizados para soldadura e manipulação industrial. Trabalha em estreita colaboração com os seus parceiros oficiais, fornecedores e respetivos clientes, com vista a garantir uma comunicação precisa quanto às necessidades reais destes e à procura ativa de soluções, mantendo a longo prazo uma eficaz relação com o cliente. A Paka é parceira oficial da *Panasonic Industry Europe*.

O Grupo tem as suas instalações situadas em Portugal, no distrito de Aveiro, na localidade de Válega, estando divididas em duas unidades fabris, uma destinada à montagem das máquinas, equipamentos e soluções produzidas pela Paka Robotics, a outra, destinada às atividades de serralharia, metalomecânica e maquinação de precisão.

### 1.2.1 Paka Robotics

Empresa do grupo especializada na produção de equipamentos industriais e na criação de soluções que respondam à especificidade de cada negócio, designadamente: sistemas de soldadura robotizada, soluções de manipulação, de paletização e de armazenamento, bem como, linhas de produção automatizadas que visam automatizar o processo produtivo do cliente. É representante no mercado ibérico em exclusivo das marcas Panasonic e Serra Soldadura. Integra manipuladores da marca ABB e FANUC nas soluções de manipulação e paletização.

A Paka Robotics apresenta como serviços:

- projeto mecânico;
- projeto elétrico;
- projeto pneumático;
- serviços elétricos;
- serviços mecânicos;
- serviços pneumáticos;
- *retrofit* e *upgrade* de equipamentos;
- ferramentas (*jigs*) para soldadura;
- sistemas de visão industrial;
- automação industrial;
- programação de autómatos;
- programação de robots da marca Panasonic, ABB e FANUC;
- manutenção de equipamentos industriais;
- formação e assistência técnica.

### 1.2.2 Paka Services

Empresa do grupo que desenvolve atividades de serralharia mecânica, metalomecânica e maquinação de precisão, atividades nas quais se inclui, designadamente: soldar em várias ligas, serrar (corte), quinar, retificar, brocar, tornear, desgastar, afiar, escarear, fresar, aplainar, polir, mandrilar e nivelar.

A empresa desenvolve, também, atividades de corte e gravação de/em metais por meio de raios laser, tratamentos térmicos e de superfície, nomeadamente metalização, esmaltagem, anodização, galvanização, polimento, endurecimento, gravação, desbarbamento, decapagem, pintura, limpeza, plastificação, lacagem, coloração, tratamento térmico e outros tratamentos similares dos metais, sendo efetuados em regime de subcontratação ou à tarefa.

A Paka Services dispõe, presentemente, de um parque de máquinas com elevada capacidade tecnológica (sistemas de soldadura robotizada, quinadoras, guilhotinas, corte de plasma, CNC, torno, fresagem e outros) direcionado para o processo produtivo nas áreas da serralharia mecânica, metalomecânica e maquinação de precisão, com capacidade para produzir, montar e fresar peças de pequenas e grandes dimensões, oferecendo uma rápida resposta.

## 1.3 Objetivos

O estágio teve como principal objetivo a realização de um conjunto de tarefas com vista ao desenvolvimento de soluções proprietárias da Paka como também da Panasonic, dado que a Paka Group é parceiro oficial da *Panasonic Industry Europe*, para soldadura robotizada, em cooperação com a equipa de desenvolvimento e montagem da empresa.

Tarefas em diferentes áreas como:

- análise de projetos mecânicos;
- manipulação de material de grande dimensão em segurança;
- aprendizagem de diversas técnicas de trabalho com peças metálicas;
- aplicação de material pneumático;
- análise e aplicação de esquemas elétricos para maquinaria industrial;
- interpretação e adaptação de cabo elétrico utilizado segundo o número de sinais e corrente necessária;
- montagem e ligação do manipulador ao quadro;
- montagem e interligação do quadro elétrico da máquina com o quadro controlador do manipulador;
- interpretação e aplicação de sistemas de segurança dimensionados;
- estabelecimento de comunicação entre autómatos e módulos de controlo;
- configuração e programação do manipulador segundo as funcionalidades a desempenhar;
- programação do autómato responsável pela máquina atendendo às preferências do cliente e seguranças do sistema;
- desenvolvimento de uma HMI de um projeto indicado.

## 1.4 Plano de Estágio

O estágio dividiu-se em quatro fases principais:

- revisão da literatura;
- integração na equipa indicada e compreensão das atividades empresa;
- execução e implementação autonomamente de um sistema industrial;
- configurações e testes do sistema industrial.

## 1.5 Estrutura do Relatório

O presente relatório encontra-se dividido em 5 capítulos, de forma a apresentar de uma forma estruturada os conhecimentos teóricos adquiridos e/ou aplicados durante o estágio, bem como expor os aspetos mais relevantes vivenciados.

O capítulo 1 apresenta o enquadramento e a caracterização da empresa de acolhimento, Paka Robotics, na qual o referido estágio foi realizado, bem como a estrutura do presente relatório. Neste capítulo são também abordados a metodologia e os objetivos da empresa para o estágio, de acordo com o plano previamente definido.

No capítulo 2 são descritos os conceitos teóricos, tecnologias e equipamentos mais relevantes para o exercício das funções desempenhadas durante o período de estágio.

O capítulo 3 apresenta uma introdução a algumas das máquinas sobre as quais foi possível desenvolver trabalho na empresa, tendo uma particular atenção às diferentes etapas de conceção de uma máquina industrial em particular, a qual teve um papel de relevo ao longo do estágio.

No capítulo 4 serão descritos os diferentes testes realizados às máquinas construídas na empresa, durante o referido período do estágio.

Por último, no capítulo 5 serão apresentadas as considerações finais do estágio.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

Existem provas que o Homem utiliza ferramentas desde a pré-história com o objetivo de facilitar e agilizar os seus trabalhos quotidianos e aumentar a possibilidade de sobrevivência. Desde então, o Homem tem vindo a criar ferramentas complexas para o auxiliar em diferentes tarefas do quotidiano, que até à sua criação eram feitas manualmente. Desta forma, desenvolveu-se a capacidade de dominar as ferramentas de máquinas, impulsionando dessa forma o desenvolvimento de processos industriais até ao estado atual. O desenvolvimento das ferramentas primitivas mecânicas, levaram à criação da automação industrial associada à robótica industrial.

Até este desenvolvimento tecnológico, a indústria era constituída por linhas de montagem, com o objetivo de ter o maior número de *stock* de produtos possível, compostas por operários a realizar atividades de forma repetitiva e exaustiva, com elevadas cargas horárias de trabalho e com produções extremamente reduzidas. Atualmente, essas atividades são conseguidas com menos mão de obra, menor custo de manufatura e maior confiabilidade do produto final devido à redução ou até mesmo eliminação de erros humanos em certas atividades. A robótica industrial e as máquinas que a constituem foram-se tornando cada vez mais autónomas, sofisticadas, compactas, com maior velocidade, atingindo um nível de precisão, em certas aplicações, na casa dos nanómetros.

Ao contrário do anterior modelo de negócio das empresas, atualmente, o objetivo não é produzir o maior número de *stock* possível, mas produzir, as quantidades estritamente necessárias consoante as encomendas dos clientes. Esta alteração de paradigma, levou à implementação massiva de robôs tanto em ambiente industrial, como em processos de investigação e desenvolvimento. Os robôs para além do papel substituto do Homem, também têm tido uma forte implementação na indústria com o papel colaborador com os operadores humanos que partilham o espaço dentro da indústria [2].

Para esta interação foram criadas interfaces seguras, simples e intuitivas que possibilitem a comunicação homem-máquina denominadas por *Human-Machine Interfaces* (HMI), para uma produção de máximo rendimento com a rapidez e precisão dos robôs industriais com a capacidade de adaptação e orientação do operador humano.

Atualmente, a produção automatizada na indústria é geralmente dividida em diferentes máquinas de fabrico específico, onde cada uma realiza um conjunto de tarefas sobre um produto ou matéria-prima de modo a que, em conjunto com as restantes máquinas do parque industrial da empresa, produzam um produto final que será entregue ao cliente.

O transporte destes produtos semiacabados dentro da empresa pode ser conseguido a partir de um sistema manual de transporte de materiais exigindo interação humana ou sobre uma lógica mais avançada de organização do tipo *Computer Integrated Manufacturing* (CIM), que usa um sistema computadorizado para controlar todo o processo de produção.

Este tipo de produção flexível permite a troca de informação em tempo real dos sensores entre cada processo, aumentando a rapidez de produção e a sua eficiência, diminuindo a sua propensão a erros.

A nível nacional, as empresas que usam uma organização do tipo CIM, têm um elevado número de manipuladores robóticos industriais para aplicação de soldadura por arco elétrico, soldadura por pontos e manipulação de cargas. A indústria automóvel é um grande cliente deste tipo de robótica industrial focada na soldadura e manipulação de carga, no entanto, atualmente, é uma tecnologia adotada universalmente por empresas independentemente da sua dimensão. É importante salientar a aplicação de robótica industrial em diversos setores a nível nacional, como são exemplo a indústria dos moldes, madeira, calçado, vidro e cortiça. A indústria portuguesa, de modo geral, tem vindo a investir no setor da robótica industrial tornando-se um competidor à altura das grandes economias mundiais.

## 2.1 Métodos de Soldadura

Soldadura [3] é a ação de unir solidamente duas ou mais peças da mesma substância ou de natureza semelhante, assegurando na zona de união a manutenção das propriedades físicas e químicas nos materiais unidos. Para alcançar este objetivo, a superfície de contacto comum das peças é levada até à temperatura de fusão ou a uma temperatura próxima desta. Ao soldar metal, a união soldada é obtida de várias maneiras, mediante o tipo de metal de base e a solda que se aplica.

Os processos de soldadura podem ser divididos em três classes fundamentais, em função do estado em que se encontram os metais a soldar e caso existam metais de adição:

- soldadura por fusão ou direta;
- soldadura no estado sólido ou indireta;
- brassagem e soldobrassagem.

Numa soldadura por fusão, parte do metal é derretido fluindo para a junção das peças a soldar de forma a criar uma única peça sólida quando arrefecida. Para fundir o metal da junta, o calor pode ser proveniente de fontes como:

- chama acetilénica;
- arco elétrico do elétrodo revestido;
- arco elétrico protegido por gás:
  - *Tungsten Inert Gas* (TIG);
  - *Metal Inert Gas* (MIG);
  - *Metal Active Gas* (MAG).

As soldas por fusão através de arco elétrico são as mais comuns na indústria e será especialmente focado neste relatório o tipo de soldadura por arco elétrico protegido por gás, uma vez que o manipulador usado no projeto não suporta outro tipo de soldadura, não tendo sido também usado nenhum outro tipo de soldadura durante o decorrer do estágio.

Entende-se por arco elétrico, uma descarga contínua entre dois condutores separados ligeiramente entre si, por onde passa a corrente elétrica, que por ionização torna condutor o ar ou o gás. Deste modo o arco elétrico é a fonte de calor utilizada pela maioria dos processos de soldadura, porque origina elevada quantidade de calor e é controlável eletricamente.

### 2.1.1 Processo de Soldadura TIG

O processo de soldadura TIG, ou *Gas Tungsten Arc Welding* (GTAW), foi patenteado em 1942 por Russell Meredith [4], processo este ainda usado atualmente na indústria para realizar soldaduras em metais resistentes à corrosão e em materiais de difícil soldabilidade como aço inoxidável, alumínio ou magnésio.

Este processo consiste num arco elétrico estabelecido através de um elétrodo não consumível de tungsténio e uma peça metálica numa atmosfera de proteção de gás inerte (Árgon ou Hélio). O objetivo de formar um arco elétrico, é a criação de calor de forma a atingir uma temperatura tão elevada de modo a criar um banho de fusão, fundindo o material de adição e a proteção da superfície do banho de fusão e do metal base de óxidos superficiais.

É utilizado um elétrodo de tungsténio devido ao seu ponto de fusão elevado, 3422°C, o mais elevado entre os metais puros, permitindo a redução do desgaste do elétrodo e facilitando a ionização [5].

É demonstrado pela Figura 2.1 que um sistema de soldadura TIG possui uma fonte de alimentação, alimentação do gás de proteção e do material de adição, e a tocha de soldadura. A escolha do tipo de corrente da fonte de alimentação é feita com base na espessura e tipo de material a soldar, podendo ser utilizada corrente alternada (AC) ou corrente contínua (DC).

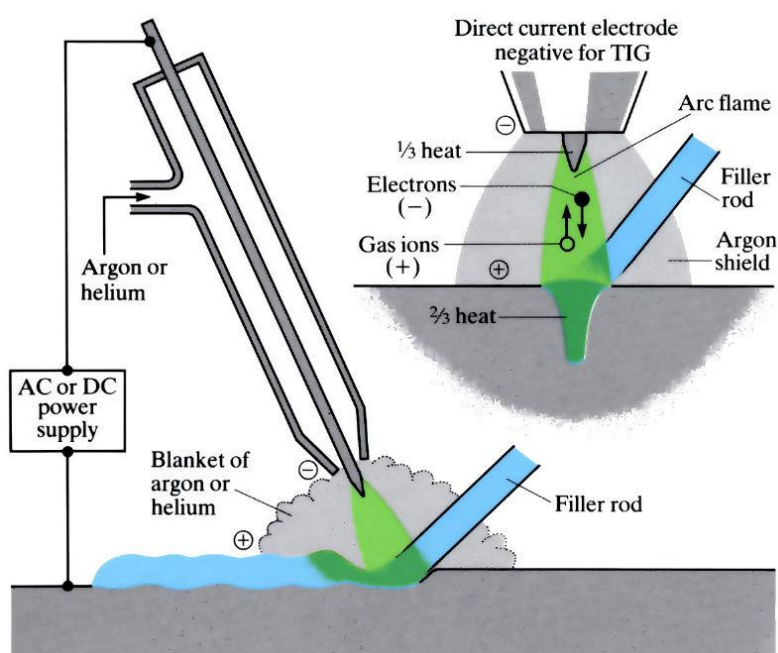


Figura 2.1: Perspetiva esquemática da soldadura TIG [6].

### 2.1.1.1 Corrente Contínua (DC)

A utilização de uma fonte de corrente contínua possibilita a soldadura tendo o cátodo no eléctrodo e o ânodo na peça, denominado por *Direct Current Electrode Negative* (DCEN) ou o oposto, *Direct Current Electrode Positive* (DCEP). Ao realizar uma soldadura em modo DCEN, os electrões deslocam-se do eléctrodo para a peça, enquanto os iões da peça para o eléctrodo, demonstrado na Figura 2.2 (a), resultando numa acumulação de calor, de cerca de 2/3 do calor gerado total, na peça a soldar possibilitando a utilização de eléctrodos mais finos, formando uma solda mais concentrada e com um poder de penetração superior.

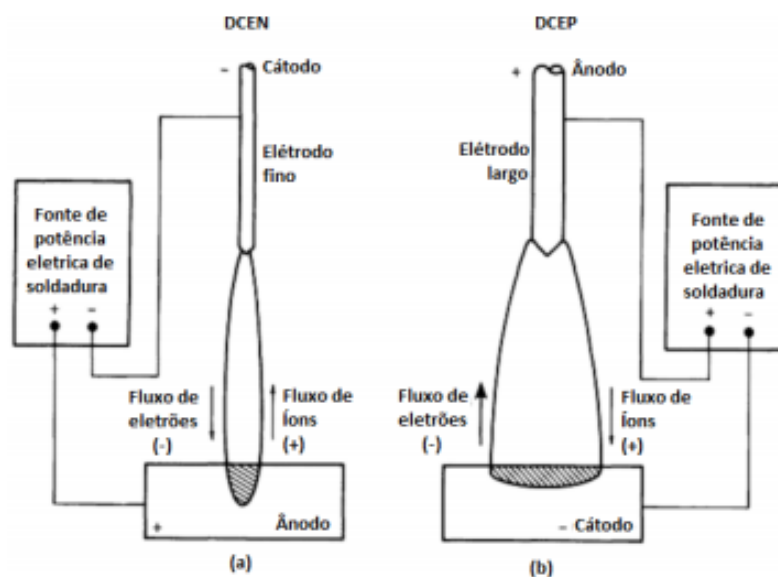


Figura 2.2: (A) Modo de soldadura DCEN; (B) Modo de soldadura DCEP [7].

Em modo de soldadura DCEP, o cátodo encontra-se na peça e o ânodo no eléctrodo, fazendo com que os electrões fluam da peça para o eléctrodo. Ao contrário do modo DCEN, 2/3 do calor gerado total, acumulam-se agora no eléctrodo e 1/3 na peça, fazendo com que seja necessário utilizar um eléctrodo mais largo, resultando num banho de solda mais largo e um menor poder de penetração na peça.

O DCEP é particularmente importante quando é necessário realizar uma limpeza catódica, que corresponde à remoção de óxidos da peça proporcionada pela saída de electrões da peça.

### 2.1.1.2 Corrente Contínua Pulsada

Em modo de corrente contínua pulsada, a corrente entre o eléctrodo e a peça a soldar varia entre uma corrente base suficiente, de forma a manter o arco eléctrico (“*background*”), e uma corrente máxima (Figura 2.3). Controlando-se o tempo do pulso, o tempo no valor mínimo, nível de corrente máxima e nível de corrente mínimo [8].

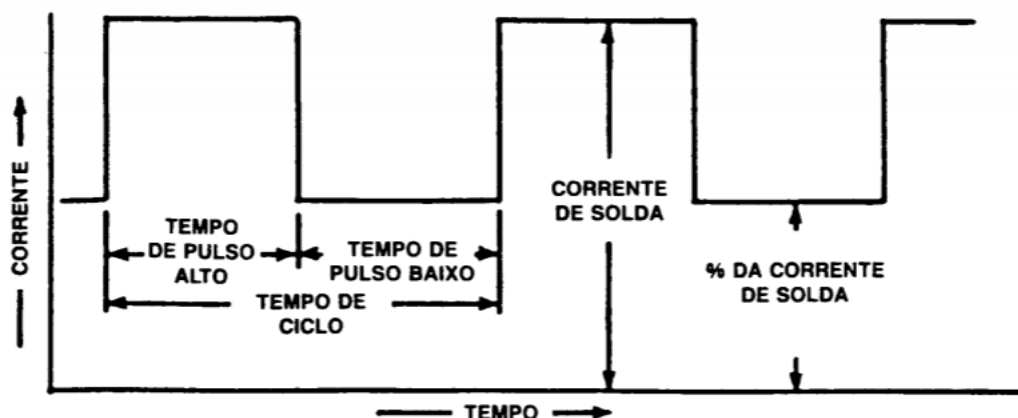


Figura 2.3: Gráfico de corrente para fonte pulsada [8].

Esta forma de soldadura permite manter uma temperatura baixa na peça ao longo do processo, evitando possíveis deformações em peças finas. É utilizada em processos automatizados de soldadura industrial devido aos pulsos intervalados com tempos constantes.

#### 2.1.1.3 Corrente Alternada (AC)

A soldadura através de corrente alternada combina as vantagens de grande penetração em DCEN com a limpeza catódica em DCEP. Isto permite obter peças com uma maior união e durabilidade, dado que não existe formação de óxidos na peça, evitando a sua degradação e a quebra da junta. No entanto, uma vez que a cada meio ciclo da onda sinusoidal de alimentação a passagem por zero ocorre, extingue o arco de soldadura, necessitando a sua ignição no mesmo período para dar continuidade ao processo.

É verificada mais facilmente a ignição quando o eléctrodo está como terminal negativo, fornecendo electrões para a peça. Contudo, isso não acontece quando a peça está como terminal negativo, porque a peça não movimenta electrões para eléctrodo até que um certo nível de tensão seja atingido.

Este problema pode ser solucionado com a utilização de condensadores, que terão o papel de descarregar após a passagem por zero a cada meio ciclo da onda sinusoidal ou velas de ignição, utilizando alta frequência e alta tensão em paralelo ao arco.

#### 2.1.1.4 Vantagens e Desvantagens do Processo de Soldadura TIG

O processo de soldadura TIG apresenta as seguintes vantagens [5]:

- possibilita a soldadura em diversos materiais;
- utilização de corrente contínua ou corrente alternada;
- possibilidade de automatização do processo;
- controlo da penetração da solda no material;
- permite soldar em diversas posições;
- baixa formação de escória.

O processo de soldadura TIG apresenta as seguintes desvantagens [5]:

- relativamente baixa penetração da soldadura;
- baixa produtividade;
- sensibilidade às correntes de ar;
- elevado custo dos gases de proteção;
- baixo rendimento ( $\leq 0,5$  kg/h).

### 2.1.2 Processo de Soldadura MIG e MAG

No final da década de 1940 verificou-se a necessidade de melhorar o processo TIG, patenteado no início da década, de forma a mitigar algumas desvantagens do seu processo, como possibilitar a alimentação automática do material de adição e aumentar o rendimento do processo de soldadura.

As várias tentativas de alimentação automática do material de adição a uma elevada taxa de deposição no arco elétrico formado pelo eletrodo de tungsténio não demonstraram resultados positivos. Este problema foi solucionado com a substituição do eletrodo de tungsténio por um eletrodo consumível [5].

Na década de 1950 ocorreu a industrialização do processo MIG, onde eram utilizados como gases inertes de proteção o Hélio, Árgon ou mistura de ambos. A introdução do processo MAG que utilizava CO<sub>2</sub> como gás de proteção ativo, permitiu tornar o processo mais económico e, conseqüentemente, verificou-se um aumento da sua aplicação na indústria. Atualmente, o processo MIG/MAG ou *Gas Metal Arc Welding* (GMAW) é largamente aplicado na indústria, permitindo soldar semi automaticamente. A tocha é manipulada por um operador ou de modo automático, por um robô de soldadura. O processo permite soldar uma grande variedade de materiais, sendo apenas limitado pelas características de transferência do metal do fio consumível para a peça.

Na tocha, o fio consumível é continuamente alimentado de forma a estabelecer o arco elétrico entre a peça e o eletrodo, fundindo para a poça de fusão formada no material a soldar. O gás de proteção flui através da tocha de forma a proteger o arco elétrico como é demonstrado na Figura 2.4.

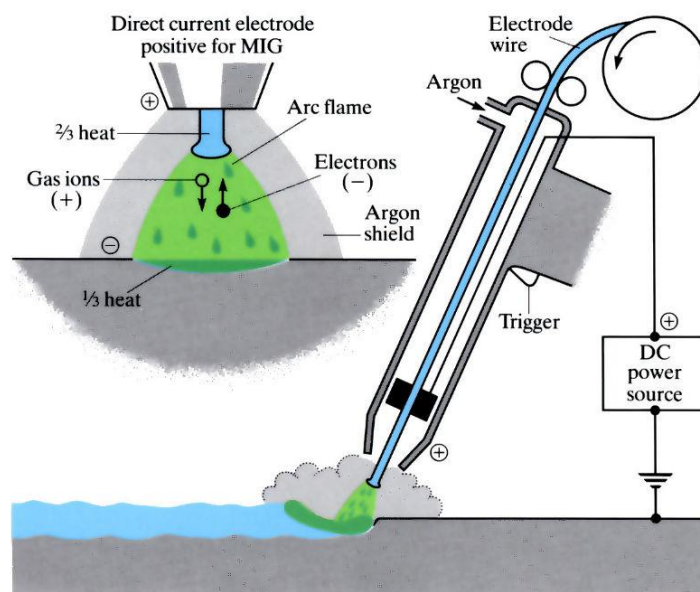


Figura 2.4: Perspectiva esquemática da soldadura MIG [6].

A qualidade final do cordão de soldadura no processo MIG/MAG é bastante influenciada pelos parâmetros utilizados, sendo que os principais parâmetros:

- intensidade da corrente;
- tensão do arco;
- velocidade de soldadura;
- velocidade de alimentação do fio consumível;
- extensão do eletrodo;
- posição da tocha;
- material e diâmetro do eletrodo;
- tipo de gás de proteção.

A corrente do arco elétrico é o parâmetro que mais influencia a geometria do cordão de soldadura, como também influencia a penetração da soldadura juntamente com a variação de tensão e distância do eletrodo à peça. Através da Figura 2.5, é possível verificar o efeito da tensão e corrente do arco elétrico na penetração da soldadura. Conclui-se neste caso, que a uma velocidade de solda de 20 cm/min, a penetração da solda é maior com o aumento da corrente elétrica e velocidade de alimentação do fio, independentemente da alteração da tensão de arco. [9].

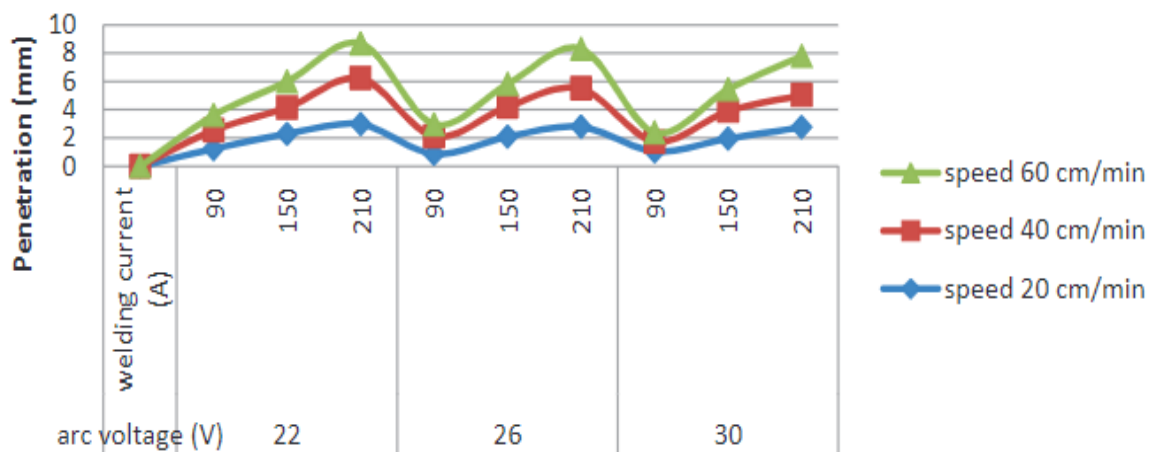


Figura 2.5: Relação de penetração da solda com a corrente e tensão de arco variáveis [9].

### 2.1.2.1 Vantagens e Desvantagens do Processo de Soldadura MIG/MAG

O processo de soldadura MIG/MAG apresenta as seguintes vantagens [5]:

- permite soldar em todas as posições;
- possibilita a soldadura de todos os metais;
- facilidade em automatização do processo;
- alimentação contínua e automatizada do elétrodo;
- controlo da penetração da solda no material;
- alta velocidade de deposição de material e da soldadura;
- facilidade de operação.

O processo de soldadura MIG/MAG apresenta as seguintes desvantagens [5]:

- sensibilidade às correntes de ar;
- custo dos gases de proteção;
- risco de inclusões de CO<sub>2</sub>;
- regulação dos parâmetros do processo complexa;
- produção de respingos.

## 2.2 Automação Industrial

Automação industrial é uma centralização computorizada de sistemas eletrônicos e mecânicos que permitem que os processos ocorram automaticamente sem a intervenção de um operador humano. Permite, após compilação e tratamento de dados, em forma de gráficos estatísticos sumarizados, uma monitorização dos processos para uma análise posterior pelo utilizador através da implementação de arquitetura *Supervisory Control And Data Acquisition* (SCADA) e *Human Machine Interface* (HMI) nos sistemas projetados. É possível classificar a automação industrial em três tipos:

- automação fixa;
- automação programável;
- automação flexível.

A Figura 2.6 mostra como se relacionam estes três tipos de automação.

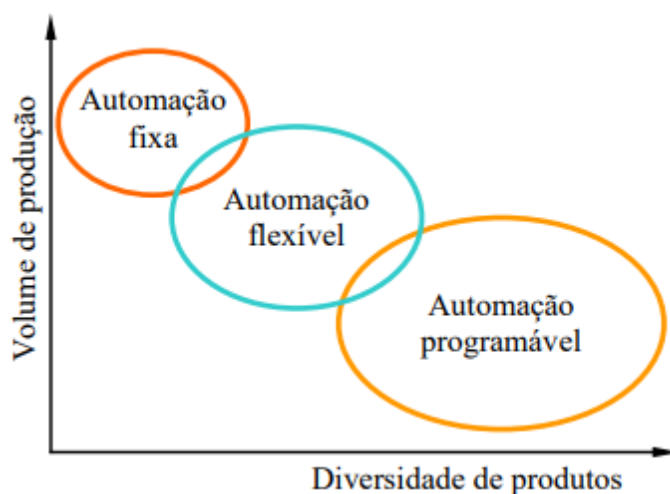


Figura 2.6: Relação entre os tipos de automação [10].

Na indústria a robótica industrial é utilizada tanto em sistemas de automação flexível como em sistemas de automação programável.

### 2.2.1 Automação Fixa

A automação dedicada possui um elevado investimento inicial, de elevada produção, no qual a sequência de operações de processamento é definida pela configuração do seu dimensionamento. As operações durante o processamento são geralmente simples, como movimentos rotacionais ou lineares. Já a integração e coordenação de muitas dessas operações em um único equipamento torna o sistema complexo e relativamente inflexível para acomodar mudanças futuras no produto.

A automação dedicada é encontrada em unidades fabris que produzem produtos com taxas de produção elevadas. O elevado custo inicial do sistema pode ser distribuído por uma maior quantidade de unidades, tornando o custo unitário reduzido em comparação com métodos alternativos de produção [11].

### 2.2.2 Automação Programável

A automação programável permite que novos programas sejam projetados e implementados no sistema existente para implementar novos processos. O controlo de cruzeiros marítimos, onde os sistemas fazem com que seja atingida a velocidade programada, é exemplo de automação programável. A principal vantagem deste tipo de automação é o facto de possuir uma maior flexibilidade para lidar com alterações no sistema projetado. Embora seja o mais adequado para a produção de volumes de produtos diferentes, produz menos unidades de entre os três tipos de automação analisados devido ao tempo de modificação do sistema para realizar outra função [11].

### 2.2.3 Automação Flexível

A automação flexível possui características da automação programável e da automação dedicada, capaz de produzir uma maior variedade de produtos com tempo de inatividade bastante reduzidos, levando a uma maior taxa de produção. Este tipo de automação permite alterações automáticas com elevada rapidez em sequências programadas sem que haja paragens na produção. Os utilizadores com este tipo de sistema não precisam de reprogramar os mecanismos para alterar os seus resultados [11].

## 2.3 Sistemas de Redundância e Segurança

A necessidade de controlo sobre os processos industriais é um dos elementos chave para uma indústria com padrões de qualidade, eficiência e produção elevados mantendo sempre a segurança do utilizador ao longo de todo o processo. O aparecimento da automação industrial tornou possível atuar de forma automática e previsível nos sistemas conforme a informação recolhida através de sensores. Os processos industriais cada vez mais automatizados na indústria atual permitiram o aparecimento de sistemas complexos de controlo e monitorização de toda a informação recolhida, fazendo com que estes tenham padrões cada vez mais elevados.

### 2.3.1 Programmable Logic Controller (PLC)

Um PLC é um controlador que usa memória programável para guardar instruções e executar diferentes funções que podem variar entre operações lógicas, sequenciais, de temporização, contagem e operações aritméticas de modo a que o controlo de processos e máquinas sejam possíveis [12].

Todos os PLC possuem uma pré-programação no seu processo de fabrico, que permite ao futuro utilizador criar um programa de controlo de forma simples e intuitiva usando diferentes tipos de linguagem de programação de alto nível como:

- *Ladder Diagram* (LD);
- *Sequential Function Charts* (SFC);
- *Function Block Diagram* (FBD);
- *Structured Text* (ST);

- *Instruction List (IL)*.

Geralmente, os programas de controlo são projetados numa aplicação dedicada num computador para o modelo de PLC a ser usado, sendo posteriormente transferidos para o PLC por cabo ou via rede.

PLC é o tipo de controlador de maior aplicação na indústria. Foi projetado para controlar sinais discretos<sup>1</sup>, digitais<sup>2</sup> e analógicos<sup>3</sup> de múltiplas entradas e saídas mantendo o seu funcionamento até em ambientes com condições tipicamente não favoráveis, pois suporta grandes variações de temperatura e possui imunidade a ruído elétrico.

### 2.3.1.1 Elementos Constituintes

Um PLC tem normalmente como elementos constituintes, componentes como a *Central Processing Unit* (CPU), memória, fonte de alimentação, uma interface para entradas e saídas, uma interface para comunicação e uma aplicação dedicada (Figura 2.7) [12].

- A CPU, é a unidade constituída pelo microprocessador, onde são interpretadas e aplicadas ações de controlo aos sinais de entrada, aplicando um sinal de ação à saída de acordo com o programa guardado na memória.
- A memória é onde é guardado o programa de controlo que contém as ações de controlo a serem executadas pelo microprocessador e onde são guardadas informações recolhidas dos sinais de entrada para processamento ou para os sinais de saída.
- A fonte de alimentação tem o papel de alimentar todos os componentes internos.
- A interface para entradas e saídas permite ao processador comunicar com dispositivos externos.
- A interface de comunicação é responsável pela aquisição de informação, verificação de dispositivos, sincronização entre aplicações do utilizador e gestão de conexões entre PLC no mesmo sistema.
- A aplicação dedicada é usada para inserir o programa de controlo na memória do PLC.

---

<sup>1</sup> Sinais onde os seus estados variam entre *on* e *off*.

<sup>2</sup> Sinais discretos, mas com uma sequência de sinais *on* e *off*.

<sup>3</sup> Sinais onde a sua tensão é proporcional à variável a ser monitorizada pelo PLC.

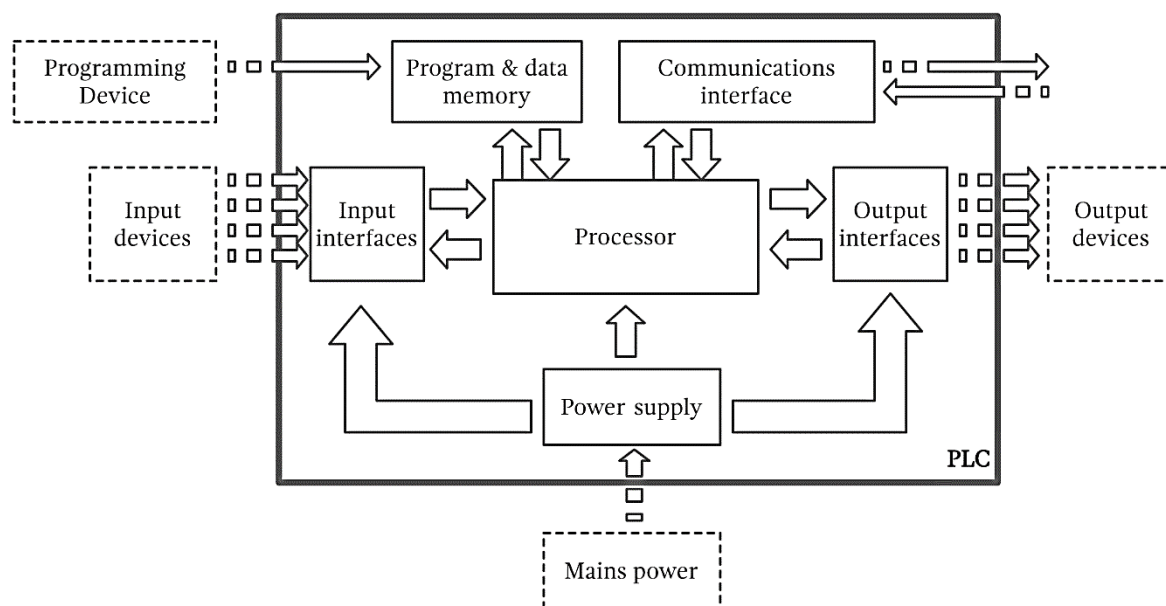


Figura 2.7: Estrutura interna de um PLC [12].

### 2.3.1.2 Métodos de Segurança e Redundância

A implementação de mecanismos de segurança e redundância em sistemas críticos foi feita para garantir uma maior fiabilidade de sinais de entrada com avaliação de sinais 1oo1 e 1oo2 e de até mesmo do sistema de controlo num caso de mau funcionamento usando lógicas de *Triple Modular Redundancy* (TMR) e *Flexible Modular Redundancy* (FMR).

#### 2.3.1.2.1 Avaliação de sinal 1oo1 e 1oo2

Na avaliação 1oo1, há um sensor que geralmente possui apenas um canal e está ligado logicamente ao módulo F através de um único canal.

Na avaliação 1oo2, dois canais são combinados num par de canais, logo o número de canais de entrada disponíveis do módulo F é reduzido em conformidade, podendo este ser ocupado por:

- um sensor de um só canal;
- um sensor não equivalente;
- um sensor de dois canais;
- dois sensores de um só canal.

Os sinais de entrada são comparados internamente conforme a sua equivalência ou não equivalência. Os sinais equivalentes são sinais que devem ser os mesmos para surgir no PLC como um sinal válido, ambos verdadeiros ou falsos. Caso contrário, a entrada ou todo o módulo não terão uma ação associada. Os sinais não equivalentes são dois sinais que não devem ser iguais para um sinal válido no PLC.

A avaliação 1oo2 em módulos de expansão Siemens SM 1226 são construídos com uma arquitetura 1oo2D [13], representada na Figura 2.8.

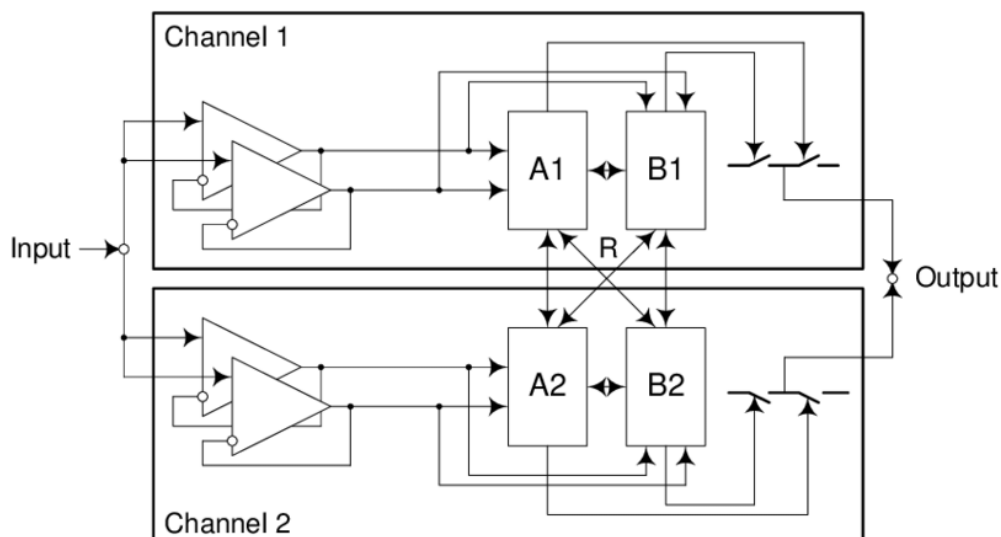


Figura 2.8: Arquitetura de avaliação 1oo2D [14].

Este tipo de segurança limita as falhas por falsos positivos, uma vez que verifica os dois canais distintos, garantindo que a informação sobre o sensor de segurança seja muito mais precisa. Evita também o uso de programação suplementar por blocos de segurança.

#### 2.3.1.2.2 Lógica TMR e FMR

Para tornar o PLC extremamente fiável, os fabricantes de outros modelos de PLC de segurança usam também lógicas TMR e mais recentemente FMR. Sistemas com estas lógicas de segurança são conhecidos e denominados por sistemas de segurança instrumentada designados na literatura anglo-saxónica por *Safety Instrumented Systems* (SIS).

Um PLC com TMR possui três conjuntos de placas de entradas e saídas e três processadores redundantes para a mesma função. As saídas surgem do resultado de um sistema de votação, segundo a Tabela 2.1, com elementos lógicos entre os três conjuntos onde a prevalece o sinal digital da maioria para o restante circuito. Se algum dos três sistemas falhar, os outros dois sistemas podem corrigir e mascarar a falha [15].

Tabela 2.1: Tabela de verdade em lógica de votação TMR, adaptado de [16].

<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>O</b>
<b>0</b>	0	0	0
<b>0</b>	0	1	0
<b>0</b>	1	0	0
<b>0</b>	1	1	1
<b>1</b>	0	0	0
<b>1</b>	0	1	1
<b>1</b>	1	0	1
<b>1</b>	1	1	1

Novos sistemas integrados surgiram, utilizando uma plataforma comum tanto para a funcionalidade do sistema de controlo SIS como para o sistema de controlo distribuído designado por *Distributed Control System* (DCS). Alguns dos novos sistemas integrados utilizam processadores solucionadores de problemas lógicos, de forma redundante, dentro de um módulo comum. Quando concebidos e implementados, estes sistemas podem ajudar a reduzir os custos de ciclo de vida, proporcionando simultaneamente níveis de segurança necessários em sistemas críticos de segurança. No entanto, sem redundância modular, os sistemas integrados não revelam tanta tolerância a falhas como os sistemas tradicionais TMR e não podem ser reparados ou atualizados *online* [17].

A necessidade de redundância modular fez surgir uma geração de sistemas SIS, denominada por sistemas com lógica FMR. Os níveis de redundância podem ser definidos pelo utilizador. Isto inclui a capacidade de implementar livremente módulos *simplex*, duplamente ou triplamente redundantes conectados entre si através de PROFINET. Os níveis de redundância de I/O podem ser definidos por *software* numa base ponto a ponto. Uma entrada ou saída pode ser ligada a um único ponto de entrada, a vários pontos de uma carta, ou a diferentes cartas em chassis diferentes. Isto permite um ajuste, por parte do utilizador, do nível precisão de redundância e tolerância a falhas exigidas em vários pontos do sistema, como uma certa liberdade de dimensionamento do sistema tendo em conta o custo-eficiência, uma vez que não é limitado a um número específico de armários. A redundância é tratada pelo sistema e é transparente para os utilizadores do sistema [17].

### 2.3.2 Human Machine Interface (HMI) / Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA)

Uma HMI é a ponte que conecta o ser humano com o sistema a que está associada. As HMI comunicam com PLC e sensores de entrada/saída para obter e exibir informações para os utilizadores, através de um ecrã tátil. As HMI podem ser usadas para uma única função, como monitorização, ou para executar operações mais sofisticadas, como desligar máquinas ou

aumentar a velocidade de produção, dependendo da forma como são implementadas no sistema para o qual foram projetadas. As HMI são usadas para otimizar um processo industrial centralizando a informação recolhida. Os operadores podem também visualizar informações exibidas na forma de gráficos, visualizar e gerir alarmes.

Estes tipos de interfaces podem encontrar-se num sistema industrial como elemento de interface de sistemas SCADA. Sistemas SCADA são plataformas de supervisão e aquisição das variáveis de dispositivos de controlo PLC, congregando toda a informação numa única plataforma de supervisão (Figura 2.9).

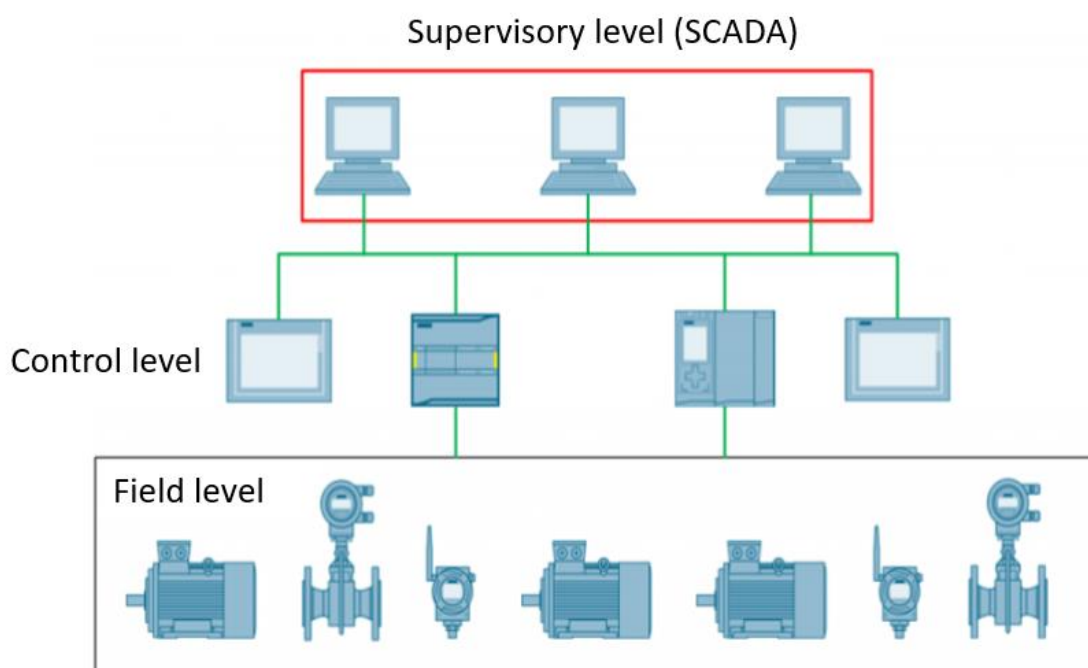


Figura 2.9: Arquitetura de um sistema com implementação de SCADA e HMI [18].

Na ausência deste tipo de tecnologia, os operadores teriam de fisicamente acompanhar o processo e registá-lo. Ao permitir que os PLC comuniquem informações em tempo real diretamente a um HMI como ao sistema SCADA, elimina a necessidade desta prática desatualizada, reduzindo problemas dispendiosos causados pelo erro humano ou informação desatualizada. A tecnologia HMI é utilizada por quase todas as organizações industriais para interagir com as suas máquinas e otimizar os seus processos industriais. Esta interface programável tende ainda a melhorar aspetos de um sistema como:

- segurança;
- funcionalidade;
- versatilidade.

## 2.4 Robótica

A robótica é uma junção de diferentes tecnologias da área da mecânica, eletrónica e informática de forma a criar uma máquina robótica. As máquinas robóticas podem ser classificadas segundo critérios distintos como o sistema de controlo, a mobilidade da sua base, estrutura cinemática e o espaço de trabalho que irão operar, como é possível verificar na Figura 2.10.

Sistemas de controlo	Mobilidade da base	Estrutura cinemática	Espaço de trabalho
Equipamentos teleoperados	<ul style="list-style-type: none"> <li>Veículo teleoperado</li> <li>Manipulador teleoperado</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Submarinos</li> <li>Marinos</li> </ul>
Robôs	Móveis	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aquáticos</li> <li>Aéreos</li> <li>Terrestres</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pernas</li> <li>Rodas</li> </ul>
	Fixos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Paralelo</li> <li>Série</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>3 - 6 GdL</li> <li>Cartesiano</li> <li>Cilíndrico</li> <li>Esférico</li> <li>Articulado</li> <li>SCARA</li> </ul>

Figura 2.10: Classificação dos vários tipos de aplicações robóticas, adaptado de [19].

As máquinas robóticas são programáveis e possuidoras de várias características que fazem com que sejam máquinas extremamente flexíveis relativamente à variedade de possibilidades de aplicações.

A indústria atualmente apresenta uma quantidade de mão de obra robotizada bastante elevada devido às suas características flexíveis, substituindo a mão de obra humana por um manipulador industrial quando o trabalho a realizar preenche um conjunto de características [20]:

- exige um manuseamento de objetos de grande porte ou pesados;
- a tarefa a realizar é considerada perigosa para o ser humano, podendo prejudicar a saúde ou o bem-estar do mesmo;
- a tarefa é repetitiva, com necessidade de apenas movimentos simples, conseguindo assim a máquina desempenhar a tarefa com mais consistência e repetibilidade que um operador;
- a tarefa pode ser realizada em vários turnos, sendo uma aposta da empresa bastante evidente a nível económico, pois o retorno financeiro é mais rápido.

### 2.4.1 Manipuladores Industriais

Os braços robóticos usados para qualquer tipo de manipulação, seja de objetos ou posicionamento de ferramentas acopladas. No caso de uma tocha, tiveram como objetivo a aproximação ao funcionamento do braço de um ser humano na realização de tarefas de soldadura. Como é conhecido, o braço humano, possui 7 graus de liberdade, sendo esta analogia aplicada ao braço robótico geralmente numa configuração de 6 graus de liberdade, como é demonstrado na Figura 2.11.

O braço robótico é dividido em 6 eixos, sendo:

- S-axis: controla a rotação da base do braço robótico;
- L-axis: controla o movimento posterior e anterior da parte inferior do robô;
- U-axis: controla o movimento vertical da parte superior do braço robótico;
- R-axis: controla o movimento rotacional da parte superior do braço robótico;
- B-axis: controla o movimento vertical do punho do braço robótico;
- T-axis: controla o movimento rotacional do punho do braço robótico.

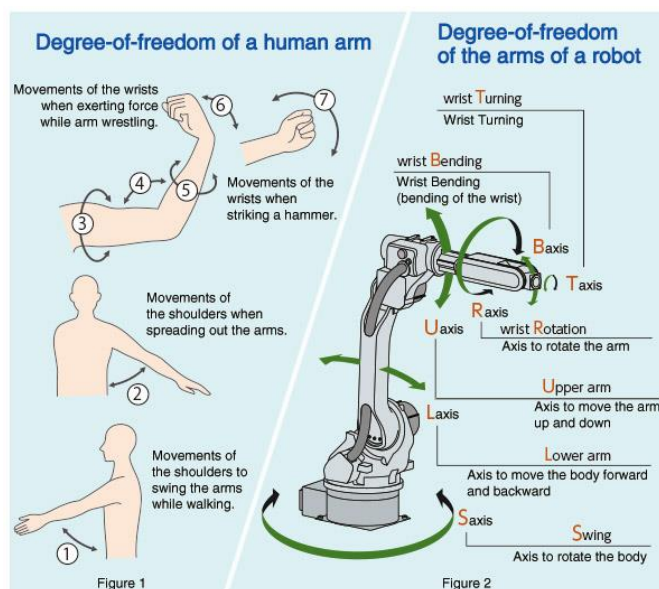


Figura 2.11: Relação de graus de liberdade de um braço humano e um braço robótico [21].

Os manipuladores industriais seguem os seguintes parâmetros [22]:

- grau de liberdade: para controlar totalmente a orientação de uma garra na extremidade de um braço robótico (podem ser necessários 7 eixos, sendo 3 eixos para alcançar qualquer ponto no espaço, 3 para a orientação da garra e 1 para abrir/fechar a garra);
- ambiente de trabalho: a região de um espaço que um robô pode exercer funções;
- capacidade de carga: utilizando-se motores elétricos para aplicações de pouca carga ou atuadores hidráulicos para aplicações de movimentação de cargas pesadas;
- velocidade: a rapidez máxima com que um robô exerce um movimento do ponto A ao B;

- precisão: o erro máximo entre a posição desejada e a posição final do robô.
- controlo de movimento: a capacidade de desempenho de tarefas com controlo constante sobre velocidade e orientação programável;
- cinemática: a disposição dos membros e articulações determinam os movimentos de um robô.
- acoplamento: pode ser acoplamento direto, quando os motores são acoplados diretamente às articulações ou indireto, através de caixas de redução.

Atualmente, os manipuladores industriais são usados numa vasta gama de aplicações como [20]:

- soldadura por arco elétrico e soldadura por pontos;
- manipulação e transporte;
- empacotamento e paletização;
- montagem;
- corte e acabamento;
- abastecimento de máquinas;
- aplicação de materiais para selagem e colagem;
- pintura;
- inspeção e teste.

Dentro dos manipuladores industriais, existe uma gama de robôs concebidos para executarem soldadura por arco elétrico. São robôs com dimensões reduzidas, em comparação a braços robóticos com o objetivo de manipulação de cargas, constituídos por motores de elevada precisão e velocidade com a desvantagem de possuírem uma capacidade de carga muito reduzida. Este tipo de manipuladores, Figura 2.12, com um alcance até 2 metros podem manipular uma carga que varia entre os 5 kg e os 20 kg. A carga é constituída pelos seguintes elementos necessários à soldadura:

- tocha;
- cabos;
- tubagem;
- alimentador de fio.



Figura 2.12: Robô para soldadura Panasonic TM series [23].

## 2.5 Sistemas de Segurança

Em ambiente industrial existem vários fatores que podem levar à danificação de componentes ou até causar acidentes de trabalho com operadores. De forma a evitar esse tipo de acontecimentos indesejáveis, são aplicados métodos de segurança, tanto na componente elétrica, como mecânica nos sistemas projetados.

Os métodos de segurança na componente elétrica, traduzem-se em métodos que evitam riscos de choques elétricos por contactos diretos ou indiretos, seguindo um conjunto de regras denominadas por Regras Técnicas das Instalações Elétricas de Baixa Tensão (RTIEBT) estabelecidas pela Portaria nº 949-A/2006 [24], que definem normas pelas quais o estabelecimento, a exploração das instalações elétricas e a utilização de energia, devem ser regidas. Para tal, são usados dispositivos de proteção (disjuntores, fusíveis e fontes de alimentação) que devem funcionar para valores de corrente, de tensão e de tempo, adaptados às características dos circuitos dos sistemas e aos perigos suscetíveis a ocorrerem [24].

Os métodos de segurança na componente mecânica (barreiras óticas, portas pneumáticas, portas serviço) traduzem-se em métodos que alertam ou bloqueiam o operador de passar ou ver para áreas de operação não autorizadas que podem pôr em perigo a sua integridade ou visão.

## 2.6 Conclusões do Capítulo

A conceção de uma máquina industrial com a finalidade de soldadura requer um domínio de conceitos de diferentes áreas.

Atualmente é bastante improvável existir um projeto de uma máquina industrial para soldadura sem que a robótica industrial faça parte da equação. É desta forma, relevante o conhecimento das diferentes aplicações da robótica na indústria, especificamente, manipuladores industriais, uma vez que são predominantes na área da soldadura. Na soldadura industrial, é importante o conhecimento dos diferentes métodos de soldadura e quais os que se aplicam em conceito industrial tendo em conta o modelo de manipulador a ser usado.

A automação industrial é o elemento chave quando existe uma necessidade de controlo em qualquer sistema industrial, logo é necessário aprofundar conhecimentos dos diferentes tipos de automação e como estabelecer uma ponte entre o operador e a máquina, daí a implementação de HMI e sistemas SCADA. A segurança de um sistema industrial é também um conceito de elevada importância uma vez que a integridade física do utilizador do sistema pode estar comprometida caso os métodos de segurança implementados ou a programação do PLC não seja realizada da melhor forma. É então importante conhecer os diferentes métodos de redundância de sistemas industriais, tanto por parte da arquitetura de sistemas como funções disponibilizadas por automação dedicada à segurança.

### 3 PROJETO DESENVOLVIDO

O estágio começou por um período de adaptação e integração na equipa anteriormente mencionada, passando pela observação e compreensão de todos os processos que levam à montagem e programação de uma máquina industrial para soldadura.

Após um período de sensivelmente um mês na empresa, alguns processos foram realizados de forma autónoma, levando a uma compreensão mais aprofundada sobre as diferentes fases de montagem do projeto a decorrer no momento.

Em seguida, o principal objetivo dos projetos inseridos, foi criar uma solução de soldadura industrial à medida das exigências do cliente. Sendo assim, foi criada a máquina em ambiente virtual de modo a verificar-se a funcionalidade final e a sua compatibilidade com o método de fabrico dos diferentes componentes, tanto mecânicos como elétricos.

Após a aprovação do projeto, segue-se o dimensionamento do esquema elétrico da máquina constituído pelo esquema elétrico do quadro elétrico e das interligações com o quadro controlador do manipulador e eixos associados.

Posteriormente, reuniram-se os diversos componentes para a construção da máquina de modo a proceder à montagem da mesma. Esta montagem precede uma aprendizagem de todos os processos envolventes, desde a análise de esquemas elétricos e mecânicos, à configuração e programação do PLC da máquina via *software Totally Integrated Automation Portal – TIA Portal*.

Ao longo do estágio participei na montagem de diferentes máquinas que por sua vez seguiam um dos três modelos apresentados pela Figura 3.1, Figura 3.2 e Figura 3.3.

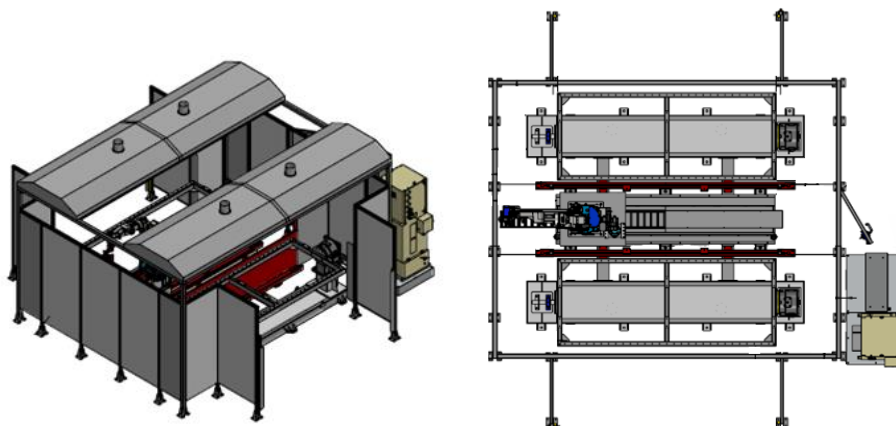


Figura 3.1: Máquina com dois lados de operação e manipulador sobre carril [1].

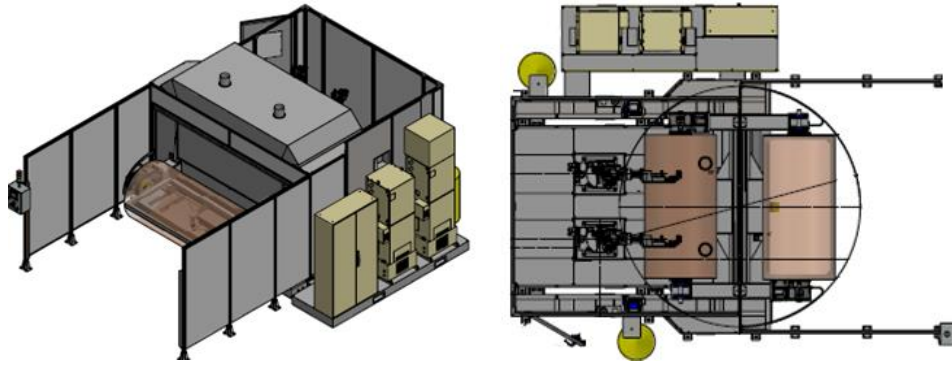


Figura 3.2: Máquina um lado de operação com mesa h de operação e dois robôs [1].

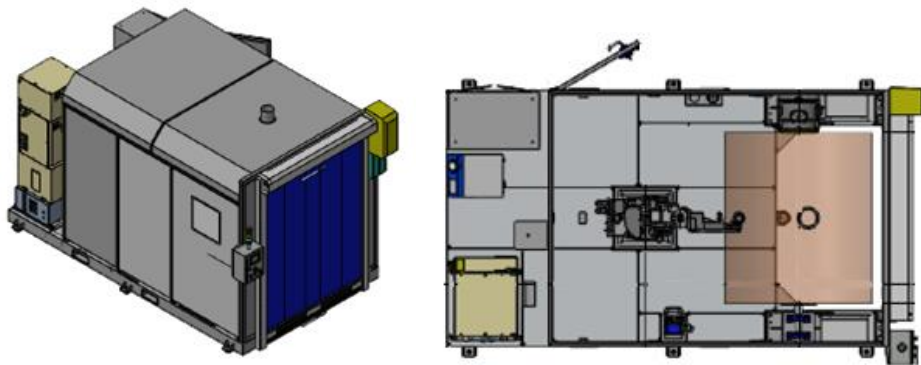


Figura 3.3: Máquina um lado de operação com porta Albany [1].

Após algum domínio dos vários processos que levam à transformação de um projeto em ambiente virtual para a prática, foi dado um papel com maior responsabilidade sobre um projeto que se baseava no modelo da Figura 3.1.

Este projeto em específico consistiu na concretização do esquema elétrico fornecido (Anexo I), como a programação do PLC e a interface entre utilizador e máquina e configuração do manipulador conforme as exigências do projeto e do cliente. Este processo manteve uma supervisão e orientação do orientador da empresa nas funções incutidas. Este projeto será o foco principal do relatório, não menosprezando os restantes projetos incluídos ao longo do estágio.



Figura 3.4: Máquina para soldadura desenvolvida no estágio [1].

Dado o volume de trabalho efetuado durante o estágio, neste capítulo irá ser descrito o projeto de uma máquina industrial representada na Figura 3.4, a qual consiste num manipulador robótico que permite soldadura MAG sobre duas mesas rotativas em dois locais distintos da máquina, possuindo assim duas zonas de operação, designados por A e B (Figura 3.5).

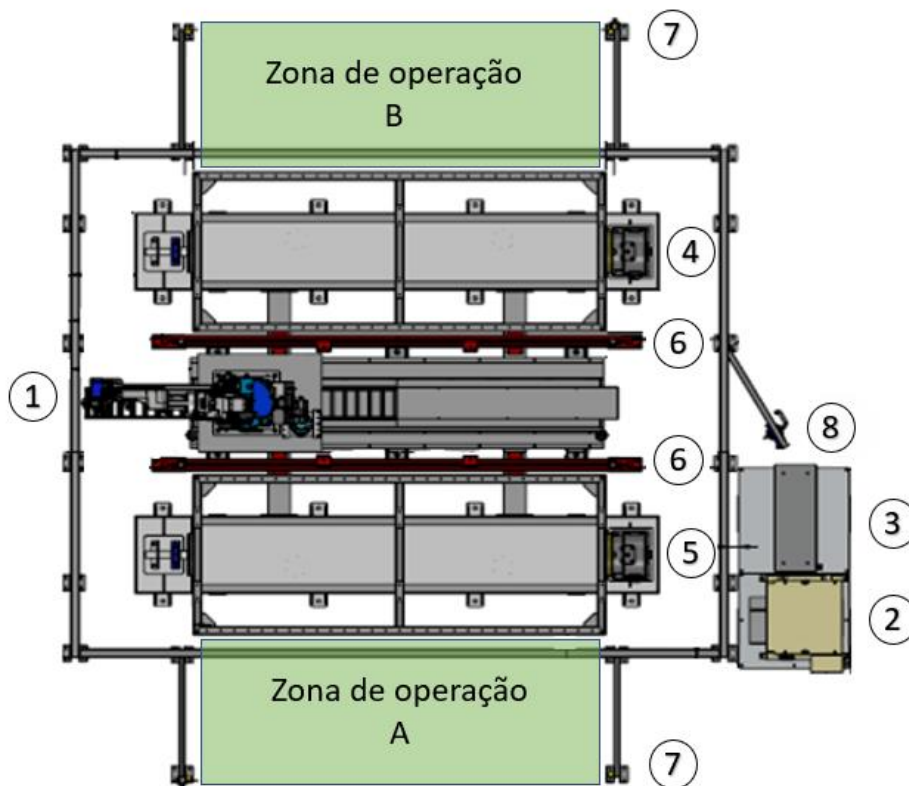


Figura 3.5: Vista superior da máquina [1].

A Figura 3.5 tem a seguinte legenda:

- 1- manipulador e sistema de limpeza da tocha;
- 2- quadro controlador do manipulador e posicionadores;
- 3- quadro elétrico da máquina e controlo HMI;
- 4- posicionador G5;
- 5- posicionador G6;
- 6- barreiras de segurança pneumáticas;
- 7- barreiras óticas de segurança;
- 8- porta de serviço.

### 3.1 Manipulador

Como foi referido anteriormente, a empresa onde foi realizado o estágio, Paka Group, é parceira oficial da Panasonic Industry Europe, pelo que a escolha de equipamento para soldadura industrial das máquinas desenvolvidas, numa grande parte dos casos, tenha sido Panasonic.

Este equipamento inclui os manipuladores robóticos e posicionadores, como os seus quadros e controladores e os sistemas de limpeza de resíduos da tocha de soldadura. Estes componentes serão abordados ao longo do relatório.

Neste projeto, o manipulador utilizado é um TM-1800 da TM Welding Robot Series da Panasonic (Figura 3.6), especificamente projetado para soldadura industrial.



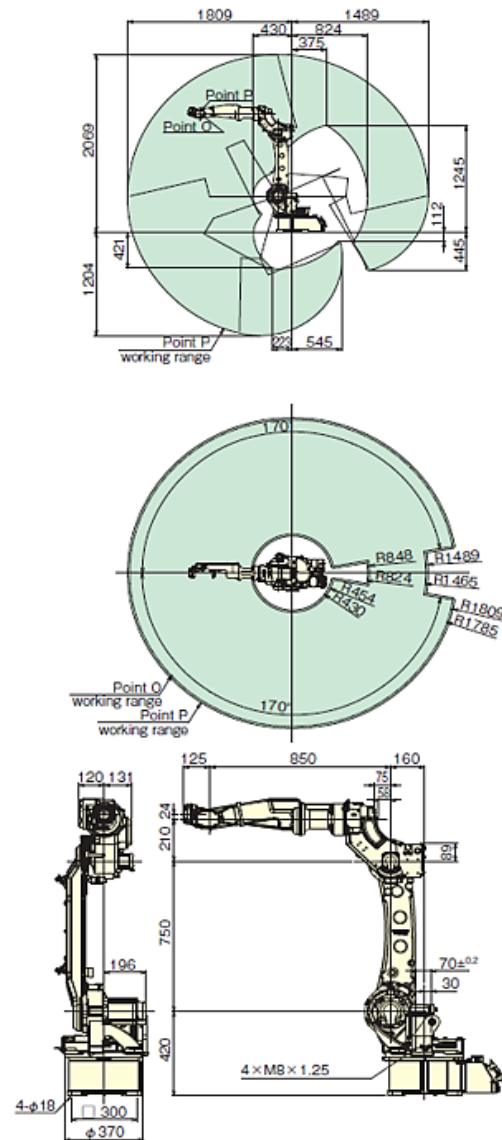
Figura 3.6: Manipulador Panasonic TM-1800 posicionado na máquina.

Esta série de manipuladores beneficiam de uma estrutura altamente rígida e de servo motores eficientes e precisos, que em conjunto com um *encoder* de alta resolução proporcionam um movimento suave no posicionamento da tocha de soldadura adaptando-se da melhor forma aos requisitos de um processo de soldadura flexível e eficiente. As

características técnicas do modelo Panasonic TM-1800 encontram-se descritas na Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Características técnicas do manipulador TM-1800 [25].

Modelo	TM-1800
Número de eixos	6
Carga máxima (Kg)	6
Alcance máximo (mm)	1809
Alcance mínimo (mm)	430
Área de trabalho (mm)	1379
Velocidade máxima de movimento (° /s)	
S-Axis / RT (Rotating Trunk)	195
L-Axis / UA (Upper Arm)	197
U-Axis / FA (FOREARM)	205
R-Axis / RW (Rotating Wrist)	425
B-Axis / BW (Bending Wrist)	425
T-Axis / TW (Twisting Wrist)	629
Precisão de repetibilidade (mm)	+/- 0.08
<b>Motores</b>	
Potência total (W)	4700
Travões	Todos os 6 eixos
Posição de montagem	Chão / Teto
Peso (kg)	215



O manipulador situa-se em cima de um pedestal maciço metálico associado a um carro que por sua vez é movido linearmente sobre um carril dentado por um servo motor de corrente alternada (Figura 3.7).

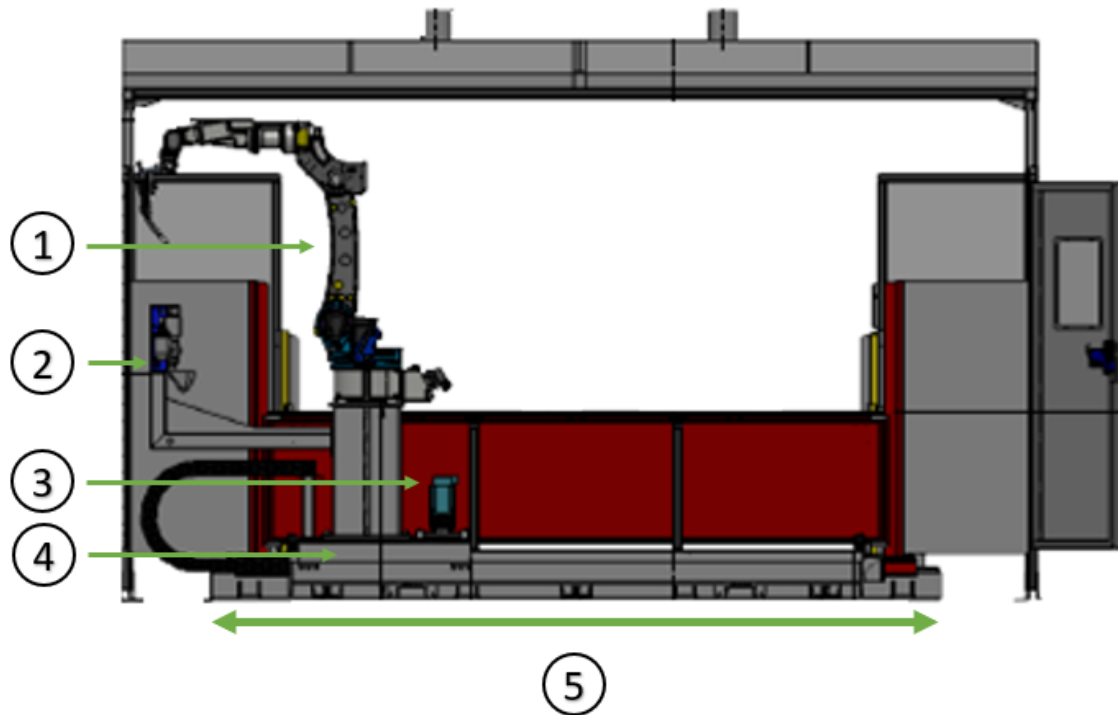


Figura 3.7: Vista lateral da máquina [1].

A Figura 3.7 tem a seguinte legenda:

- 1- manipulador;
- 2- sistema de limpeza da tocha;
- 3- posicionador G4;
- 4- carro;
- 5- carril.

### 3.1.1 Posicionadores

O posicionador responsável pelo movimento linear no carril é um servo motor TAMAGAWA TBL-i III Series de 2000 W (Figura 3.8).



Figura 3.8: TAMAGAWA TBL-i III series [26].

O manipulador desempenha as suas funções de soldadura sobre duas mesas de operação em lados distintos da máquina acopladas a dois posicionadores RJB22 Panasonic de um eixo (Figura 3.9).

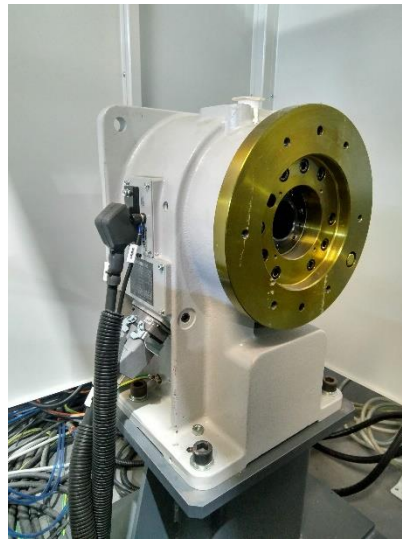


Figura 3.9: Posicionador Panasonic RJB22.

O posicionador RJB22 é um dos três modelos de posicionadores de um eixo da Panasonic, que apresentam as características presentes na tabela seguinte.

Tabela 3.2: Características posicionador RJB22 [23].

<b>Modelo</b>	<b>RJB12</b>	<b>RJB22</b>	<b>RJB32</b>
<b>Carga máxima (kg)</b>	250 kg	500 kg	1000 kg
<b>Velocidade máxima</b>	190°/s (31 r/min)	120°/s (20 r/min)	120°/s (20 r/min)
<b>Alcance de operação</b>	-3600°+3600°		
<b>Torque máximo</b>	196 N m	490 N m	1470 N m
<b>Momento máximo</b>	1470 N m	1470 N m	6125 N m
<b>Precisão de repetibilidade</b>	+/-0.05 mm (R = 250 mm)		
<b>Diâmetro do eixo</b>	55 mm		75 mm
<b>Corrente max. de soldadura</b>	500 A, 60% Duty Cycle		
<b>Peso</b>	125 kg		225 kg

Cada posicionador, tanto de cada mesa de operação, como o posicionador do carro do manipulador são ligados ao respetivo controlador no quadro controlador do robô e posicionadores segundo o esquema da Figura 3.10.

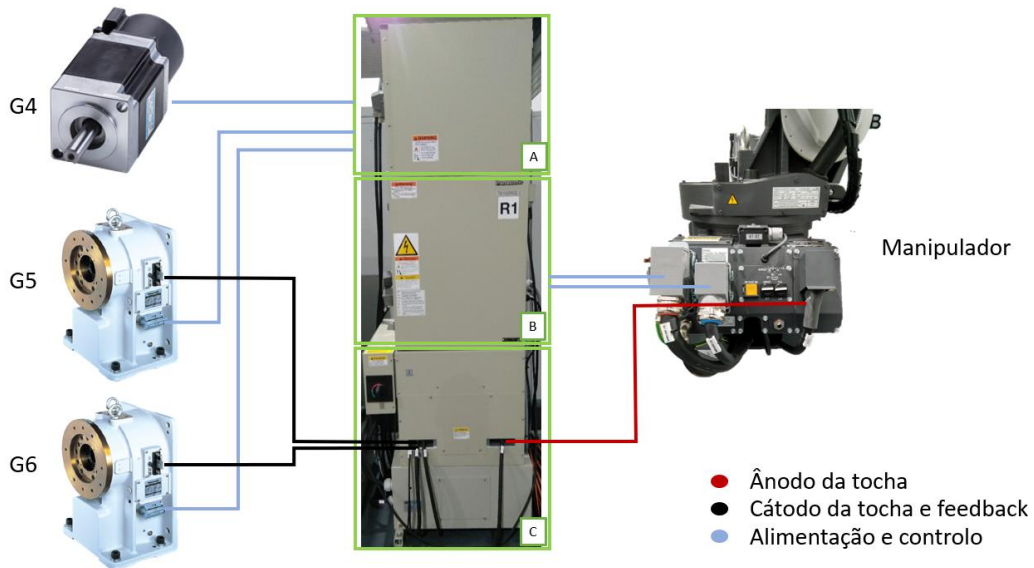


Figura 3.10: Diagrama de ligação do manipulador e posicionadores com o quadro controlador.

Legenda da Figura 3.10:

A- Módulo controlador dos eixos externos do manipulador (Figura 3.11): controla, alimenta e interliga os posicionadores com o manipulador;



Figura 3.11: Módulo controlador de eixos externos.

B- Módulo controlador do manipulador (Figura 3.12): controla e alimenta o manipulador, é também o local de interligação de I/O do robô com o PLC no quadro elétrico;



Figura 3.12: Módulo controlador do manipulador.

C- Módulo de alimentação do quadro (Figura 3.13) com características descritas na Tabela 3.3.



Figura 3.13: Transformador trifásico do quadro controlador de eixos.

Tabela 3.3: Características do transformador trifásico.

<b>Fabricante</b>	TTH
<b>Tipo</b>	DVS
<b>Potência</b>	30 kVA
<b>Enrolamento Primário</b>	400 V / 43,3 A
<b>Enrolamento Secundário</b>	200 V / 86,8 A
<b>Frequência</b>	50/60 Hz

Esta interligação permite o controlo de todos os motores através da consola do manipulador, incluindo os posicionadores configurando como eixos externos e o uso centralizado nos programas realizados na consola.

### 3.1.2 Consola de Controlo

Uma consola de controlo ‘*Teach Pendant*’ é ligada ao quadro controlador que de forma intuitiva permite controlar os eixos do manipulador como os seus eixos externos, sendo assim é possível criar programas de rotina na própria consola (Figura 3.15) de forma a serem chamados pelo PLC conforme o programa de controlo criado.

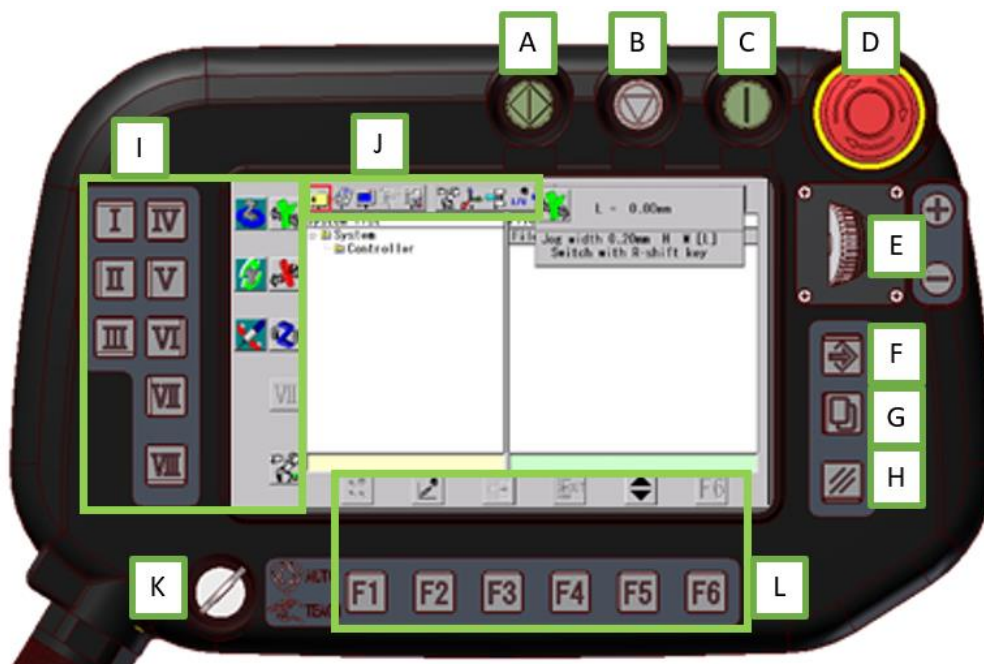


Figura 3.14: Panasonic G3 Teach Pendant [23].

Legenda da Figura 3.14:

- A- botão de ativação dos servos do manipulador;
- B- botão de *Hold* do manipulador;
- C- botão de ativação dos servos do manipulador (permitido apenas quando um dos dois botões de segurança na traseira da consola são premidos);
- D- botão de emergência;
- E- roda de navegação e seleção de menus;
- F- botão de *Enter*;
- G- botão de mudança de janela;
- H- botão de retroceder;
- I- menu de controlo de eixos do manipulador e botões de interação;
- J- menus de criação de programas, visualização de valores dos *encoders* dos eixos, configurações do manipulador e eixos externos, controlo de I/O do manipulador;

- K- seletor de modo automático/manual;
- L- menus de complementação de criação de programas/ ativação de soldadura durante o programa e botões de interação respetivos.

Na consola são configurados todos os parâmetros do manipulador e é dada a possibilidade de configuração de parâmetros específicos de soldadura, como corrente, tensão, ângulo da tocha, etc., sendo estes configurados pelo cliente conforme o material a ser soldado.

O desenvolvimento das funções de rotina do manipulador realizados na consola, tem como característica principal a manipulação direta do mesmo através do movimento dos eixos, podendo estes serem movidos através de:

- coordenadas cartesianas, tendo como referência a tocha;
- movimento de cada eixo de forma independente;
- movimento angular pormenorizado da tocha.

É prudente desenvolver os programas de rotina de forma simples e o mais compactos possível, de forma a evitar aumentos de tempo de ciclos de produção na aplicação do cliente (Figura 3.15).

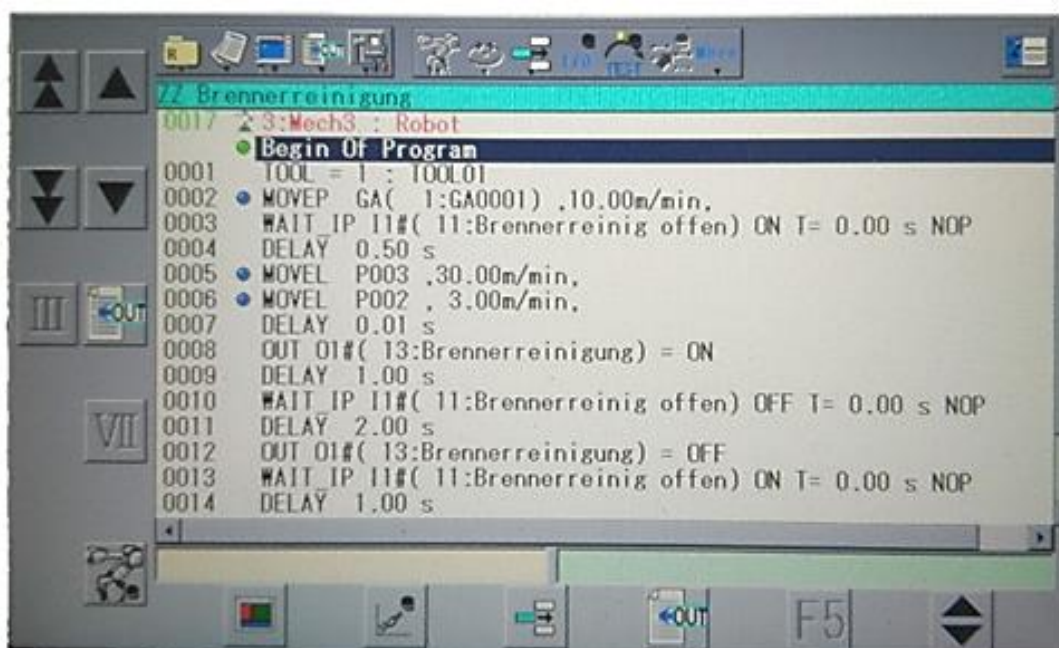


Figura 3.15: Excerto do programa de rotina de limpeza da tocha do manipulador.

O programa integral da rotina de limpeza da tocha do manipulador, é apresentado no Anexo II.

### 3.2 Programmable Logic Controller (PLC)

Todas as funções da máquina foram conseguidas através da utilização de autómatos Siemens, sendo esta a marca mais utilizada pela empresa, ao longo do estágio, e na maior parte dos projetos desenvolvidos pela empresa. É importante referir que grande parte das funções criadas seriam possíveis de replicar num modelo de PLC de outra marca, como por exemplo, autómatos Omron ou Schneider.

A seleção da marca a utilizar deve-se à preferência da empresa, tendo em atenção as exigências do cliente quando é efetuada a encomenda da solução a implementar. Por vezes, é verificada preferência por uma diferente marca de autómatos por parte do cliente ou numa situação onde este quer aumentar a sua produção e requer máquinas idênticas às produzidas anteriormente na empresa, evitando, assim, a adaptação de programação a autómatos diferentes, agilizando o projeto e diminuindo o tempo de conceção.

Uma vez analisadas as necessidades e especificações do cliente, é efetuado um levantamento do equipamento necessário, de modo a proceder-se ao dimensionamento do autómato responsável pela máquina, garantindo todas as medidas de segurança e proteção dos seus utilizadores.

O modelo de controlador mais utilizado da Siemens em projetos realizados na empresa é o SIMATIC S7-1200 (Figura 3.16). É um modelo de gama baixa vastamente utilizado na indústria no controlo de máquinas individuais e isoladas. A capacidade de utilização de módulos de expansão é a característica que permite a sua flexibilidade de utilização, pois o módulo principal de controlo conta apenas com 14 entradas, 10 saídas digitais no modelo utilizado neste projeto, tratando-se especificamente do modelo com o CPU 1214FC DC/DC/DC.



Figura 3.16: PLC Simatic S7-1200 CPU 1214FC DC/DC/DC.

Os modelos de CPU e os módulos de expansão da Siemens caracterizam-se por três conjuntos de siglas antecedido do número de I/O que possuem. Neste caso o CPU usado tem como características (DC/DC/DC).

Primeiro campo, a tensão de alimentação:

- DC: 24 V em corrente contínua;
- AC: 120/230 V em corrente alternada.

Segundo campo, a tensão dos pinos de entrada:

- DC: podendo apenas ser de 24 V em corrente contínua.

Terceiro campo, o tipo de saída e a potência.

- DC: 24 V em corrente contínua com uma limitação máxima 0,5 A por canal;
- RLY: saída através de um relé de 5-30 V em corrente contínua ou 5-250 V em corrente alternada, com uma limitação máxima 2 A por canal.

O PLC está inserido no quadro elétrico apresentado na Figura 3.17, composto por componentes de proteção, pela alimentação elétrica de toda a máquina e pelos componentes de comunicação e interligação de I/O com o autómato e o manipulador.

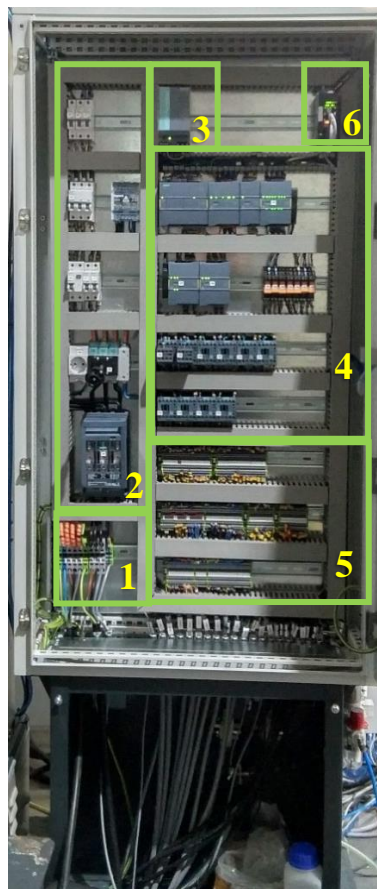


Figura 3.17: Vista geral quadro elétrico [1].

Legenda da Figura 3.17:

- 1- alimentação trifásica quadro elétrico;
- 2- proteção quadro elétrico com fusíveis e disjuntores;
- 3- conversor tensão 230 V AC / 24V DC;
- 4- autómato de controlo da máquina e relés;
- 5- bornes de interligação com o autómato;
- 6- módulo de comunicação Cosy.

### 3.2.1 Segurança e Redundância

O CPU 1214FC DC/DC/DC é uma unidade de processamento pertencente à gama *Simatic Safety Integrated* da Siemens, uma gama de autómatos que, para além de possuir as características de controlo habituais de um autómato *standard*, possui ainda *hardware* que permite redundância, autodiagnóstico e é configurado de uma forma que coincida com os níveis de desempenho e integridade de segurança necessários para um sistema de segurança certificado ou validado. Estas unidades de processamento são utilizadas em sistemas críticos de segurança, sendo esses sistemas, com o qual a falha no desempenho da função pretendida pode levar à perda de vidas.

Para este projeto foram utilizados cinco módulos de expansão, dois módulos que expandem a quantidade de canais disponíveis, permitindo 16 canais de entrada e 24 canais de saída adicionais aos disponíveis pelo módulo principal.

- SM 1223 DI16/DQ16 x 24 VDC;
- SM 1222 DQ8 x 24 VDC.

Os restantes três módulos de expansão pertencem à gama *Simatic Safety Integrated* da Siemens, anteriormente referida.

- SM 1226 F-DI8/16 x 24 VDC;
- 2x SM 1226 F-DQ4 x 24 VDC.

Estes modelos possuem todas as características da gama *standard* como também características de segurança adicionais configuráveis no *software* TIA Portal. Estas configurações passam por arbitrar o intervalo de tempo de resposta máximo das I/O ligados a esses módulos, controlar parâmetros dos canais de entrada e avaliação do tipo de sensor (digital ou analógico). A avaliação do tipo de sensor é possível no módulo de expansão SM 1226 F-DI8/16 x 24 VDC onde, também, é possível configurar para todos os 16 canais físicos digitais, uma avaliação 1oo1 ou 1oo2.

Este tipo de segurança foi implementado, por exemplo, no botão de emergência, garantindo que o botão não envia um sinal errado para o PLC, interrompendo a máquina mal seja pressionado e, até mesmo evitando que a máquina seja ativada até que o botão seja rearmado.

Nesta máquina, este PLC foi escolhido, em vez do modelo *standard*, sem características de redundância TMR e FMR da Siemens, devido às suas características de redundância mais simples, mas eficazes. Esta máquina não necessita de redundância de sistema de automação, mas sim de entradas de sinal, uma vez que existe interação entre máquina e operador, levando a que os sistemas de segurança implementados sejam críticos para a proteção do mesmo.

### 3.2.2 Software de Monitorização e Configuração

O *software* usado para a programação e monitorização tanto do PLC desta máquina como de todas as inseridas durante o estágio denomina-se por TIA Portal, versão 15 (Figura 3.18), um *software* lecionado de forma breve no mestrado de Engenharia Eletrotécnica, mas aprofundado durante o decorrer do estágio.

É um *software* bastante robusto que centraliza todo o tipo de interação e monitorização entre o utilizador e toda a gama de autómatos Siemens.

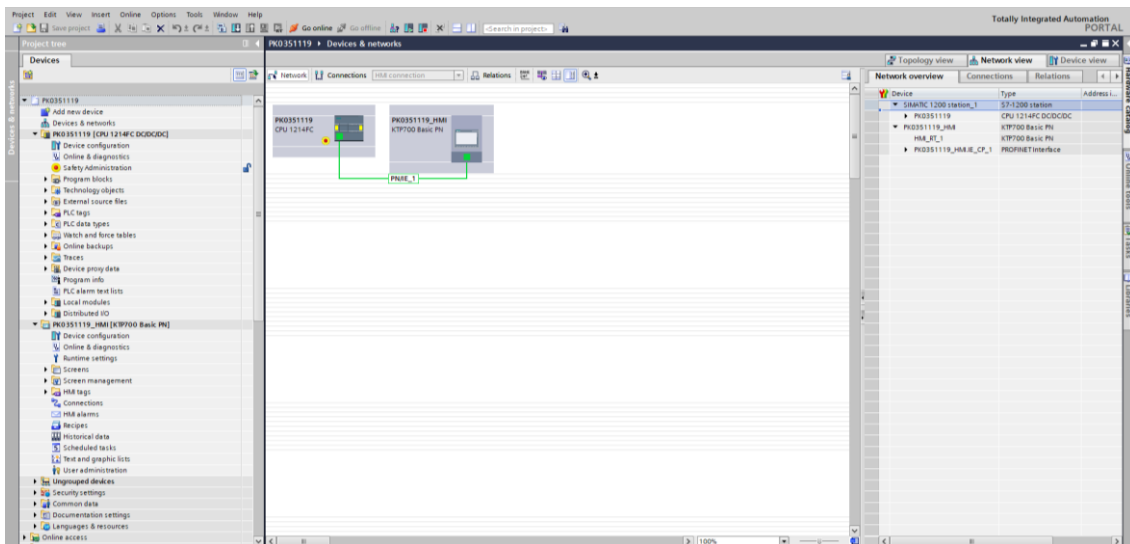


Figura 3.18: Vista geral do ambiente de trabalho do *software* TIA Portal V15.

Dentro do TIA Portal, uma das primeiras interações com o *software* é a configuração do *hardware* necessário para o projeto, tal como o CPU, módulos de expansão de I/O, *drivers* e módulos que permitem a interação com o utilizador, etc.

Na configuração do *hardware*, é necessário ter em atenção à atribuição de endereços para os diferentes tipos de protocolos de comunicação que possam existir (PROFINET, PROFIBUS, etc.), o correto endereçamento em zona de memória das entradas e saídas dos dispositivos inseridos no projeto mediante as suas características (Figura 3.19) e a correta escolha e configuração das redes de comunicação utilizadas (Figura 3.19).

O *software* TIA Portal V15 contém uma vasta biblioteca com vários modelos de autómatos Siemens, onde são descritas as características de cada um, como a versão do controlador, número e tipo de I/O disponíveis.

Para além das características dos autómatos centralizadas, também possui mecanismos de deteção para um correto endereçamento de memória, segundo as preferências do programador, tornando o acesso à mesma mais fácil.

Concluída a configuração e escolha dos modelos necessários para o projeto, procede-se à declaração de I/O da máquina.

Existe uma lógica de divisão de entradas e saídas consoante o tipo de autómato aplicado na empresa, tendo sido aplicada na programação realizada ao longo de todo o estágio no momento da configuração dos autómatos. Esta divisão passa por separar o endereçamento das variáveis ligadas a autómatos de segurança crítica, denominadas por F-I/O, de autómatos sem características de segurança. Desta forma, os autómatos sem características de segurança possuem menores endereços, associando assim às entradas desde o primeiro endereço, sendo I0.0 e saídas Q0.0.

No caso dos autómatos com características de segurança crítica associam-se a endereços múltiplos de 10 em cada módulo de expansão diferente, como o caso do terceiro módulo de expansão na Figura 3.19, associando assim a primeira entrada ao endereço I10.0 e saída a Q10.0. Visto que se trata de autómatos de segurança devido ao protocolo especial de segurança, o F-I/O ocupa uma maior área de endereçamento do que o necessário para os canais existentes e habilitados com F-I/O [27].

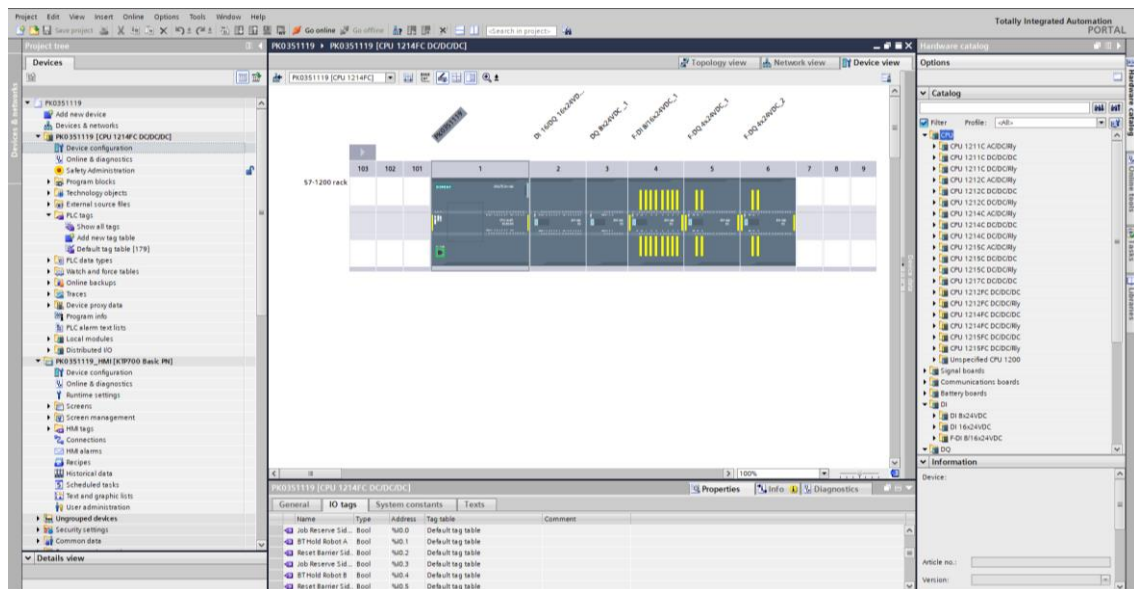


Figura 3.19: Vista geral do ambiente de configuração dos autómatos.

Esta declaração é feita na pasta *PLC tags*, onde é feito o endereçamento de todas as variáveis, sejam variáveis de estados de entrada ou saída físicas, como variáveis de memória interna do próprio autómato. A atribuição de um endereçamento simbólico como associar uma entrada a um endereço do tipo I0.0, facilita bastante no tipo de programação efetuada neste *software* ao longo do estágio, tendo esta sido restrita apenas a linguagem *Ladder*.

A programação do controlo da máquina é feita graficamente através de *Program Blocks*, criados e alojados na pasta *Program Blocks* dentro do TIA Portal. *Program Blocks* podem ser divididos principalmente em quatro diferentes estruturas de organização denominadas por OB, FC, FB, DB. Parte dos *Program Blocks* criados para este projeto estão descritos na Figura 3.20.

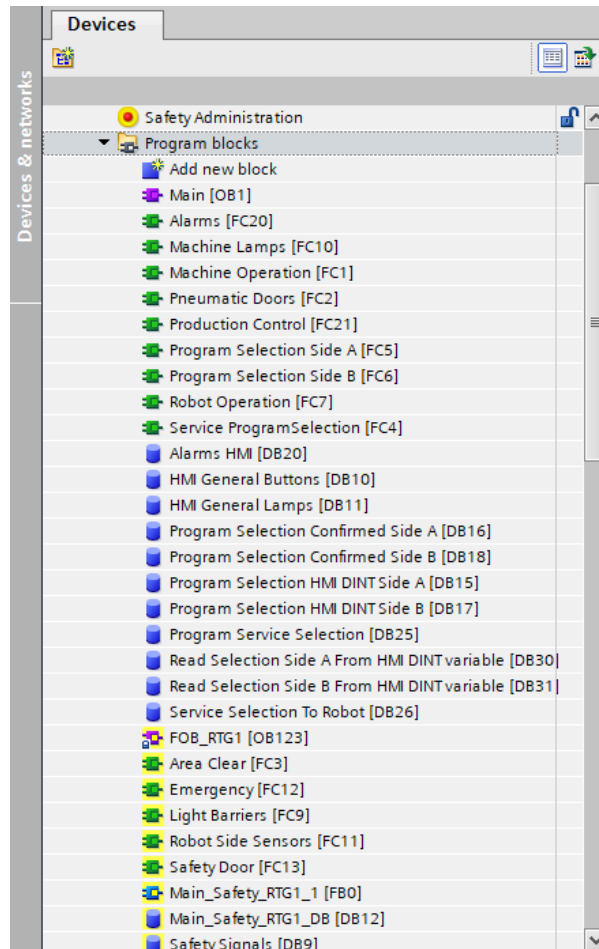


Figura 3.20: Pasta *Program Blocks* listada.

- OB – *Organization Block*

Os blocos de organização (OB) formam a interface entre o sistema operativo da CPU e o programa do utilizador. Esta interface é geralmente a *Main*, onde são chamados todos os FC que não sejam relacionados com segurança. No caso dos blocos de segurança (*F-Blocks*), é criado um Bloco OB denominado por *F-Runtime Group* onde é configurado o seu tempo de ciclo, a sua prioridade e é associado a um *Function Block* que irá atuar como *Main* de Blocos de Segurança, como também a um *Data Block* que guardará informação de variáveis como é demonstrado na Figura 3.21.

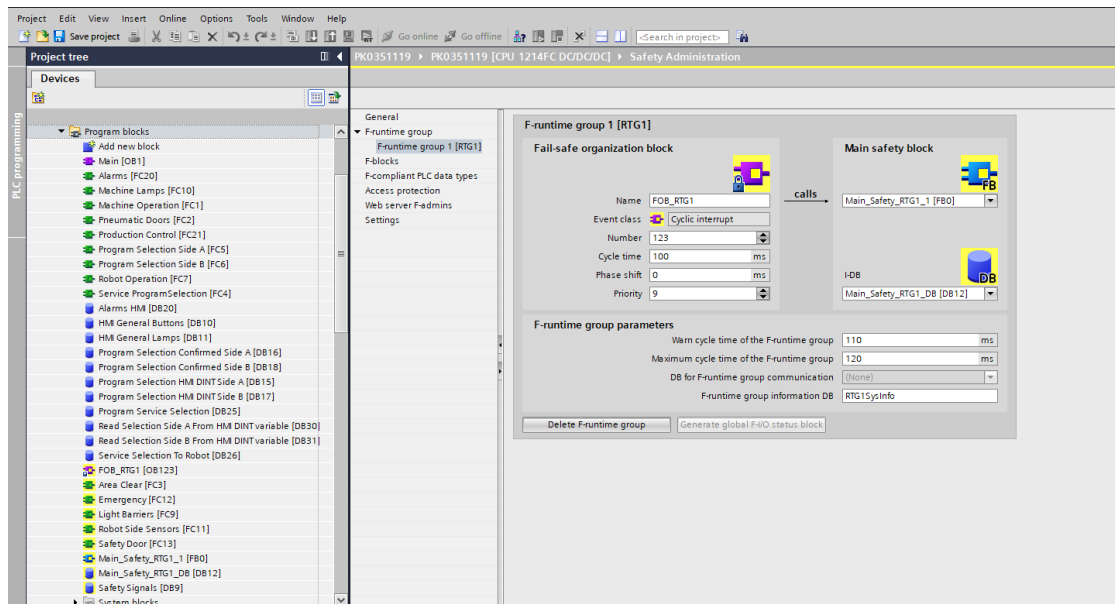


Figura 3.21: F-Runtime Group.

- FC – *Function*

As FC têm funcionalidades parciais dos programas. Uma vez que é possível adicionar parâmetros, estas tornam-se ideais para executar partes do programa que sejam repetidas muitas vezes, por exemplo, realizar um *scaling* ao valor lido por um sensor de temperatura.

As FC não têm memória de dados que permitam o armazenamento dos valores dos parâmetros de blocos. Portanto, quando uma função é chamada, todos os parâmetros devem ser valores temporários no sistema. As FC como alternativa podem utilizar blocos de dados (DB) para armazenar dados permanentemente. Por conseguinte, as FC são particularmente adequadas para operações complexas e recorrentes, como cálculos.

Uma FC contém um programa que é executado quando a função é chamada por outro bloco de código. As funções podem ser utilizadas, por exemplo, para devolver os valores da função ao bloco ao qual é chamada ou controlar *tags* individualmente usando lógica de bits. Um bloco de funções pode ser chamado várias vezes em diferentes pontos de um programa. Como resultado, simplificam a programação de funções frequentemente recorrentes.

- **FB – *Function Block***

Os blocos de funções (FB) são blocos de código que armazenam permanentemente os seus parâmetros de entrada, saída e entrada em blocos de dados, de modo a que permaneçam disponíveis mesmo após a execução do bloco. Por isso, também são referidos como blocos "com memória". Os FB também podem funcionar com *tags* temporárias. As *tags* temporárias não serão armazenadas em DB, mas estão disponíveis apenas para um ciclo.

Os FB contêm também sub-rotinas que são sempre executadas quando um bloco de funções é chamado por outro bloco de código. Um bloco de funções também pode ser chamado várias vezes em diferentes pontos de um programa.

- **DB – *Data Block***

Os blocos de dados (DB) são áreas de memória no programa criado pelo utilizador de forma estruturada para armazenar dados do programa, e às quais é possível aceder diretamente.

Contêm dados variáveis que são utilizados pelo programa do utilizador. Existem blocos de dados globais que podem ser acedidos por todos os blocos de código e por blocos de dados de instância que são atribuídos a uma chamada FB específica.

### **3.2.3 Programação do Autómato**

Concluída a montagem da parte estrutural e realizada a interligação dos diferentes componentes que constituem a máquina, segue-se a programação do PLC. A programação é realizada no programa TIA Portal da Siemens.

Esta componente utiliza a informação que é recolhida dos diferentes sensores distribuídos na máquina e atua conforme o programa carregado no PLC. Contudo, existe um conjunto de aspetos que devem ser tomados em consideração ao programar uma máquina industrial:

- garantir a segurança do utilizador em qualquer situação;
- usufruir da informação recolhida pelos sensores;
- desenvolver algoritmos de forma organizada e concisa;
- atender às exigências do cliente.

A programação de uma unidade de soldadura industrial desta dimensão apresenta uma necessidade de atingir padrões de segurança que mantêm o operador seguro de todas as ações a realizar na área de trabalho da máquina. Para tal, é imperativo implementar algoritmos que mantenham, de modo contínuo, o funcionamento dos diferentes sistemas de segurança da máquina. Caso o funcionamento de algum dos sistemas de segurança seja interrompido, o operador deve ser notificado via HMI, devendo ser executada a paragem total da máquina, mantendo assim a segurança do operador como prioridade máxima. O

mesmo é verificado, por exemplo, quando o operador pressiona o botão de início de ciclo numa zona de operação (Figura 3.22).

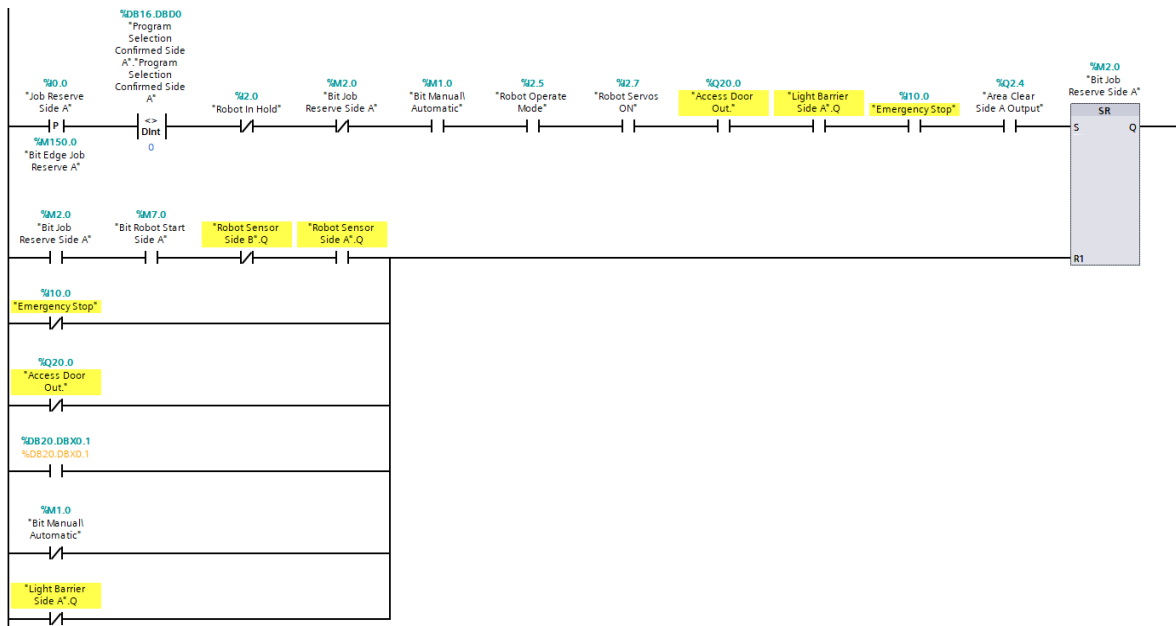


Figura 3.22: Excerto da função de início de ciclo de operação na zona A.

A função de SET e RESET do Bit Job Reserve Side A determina a veracidade do início de ciclo, após o operador pressionar no botão de início de ciclo na zona de operação pretendida. São verificadas todas as condições de operação e segurança de modo a que o PLC invoque uma função de rotina do Manipulador, a executar em modo automático. O algoritmo de funcionamento do modo automático pode ser descrito com o GRAFCET da Figura 3.23. Este apresenta o funcionamento da rotina principal da máquina em modo automático e as condições de segurança a manter para o funcionamento da mesma. O modo manual, é utilizado para pedido de serviços como a inicialização da função de limpeza da tocha de forma manual, controlo das portas pneumáticas ou manipulação do manipulador através da consola.

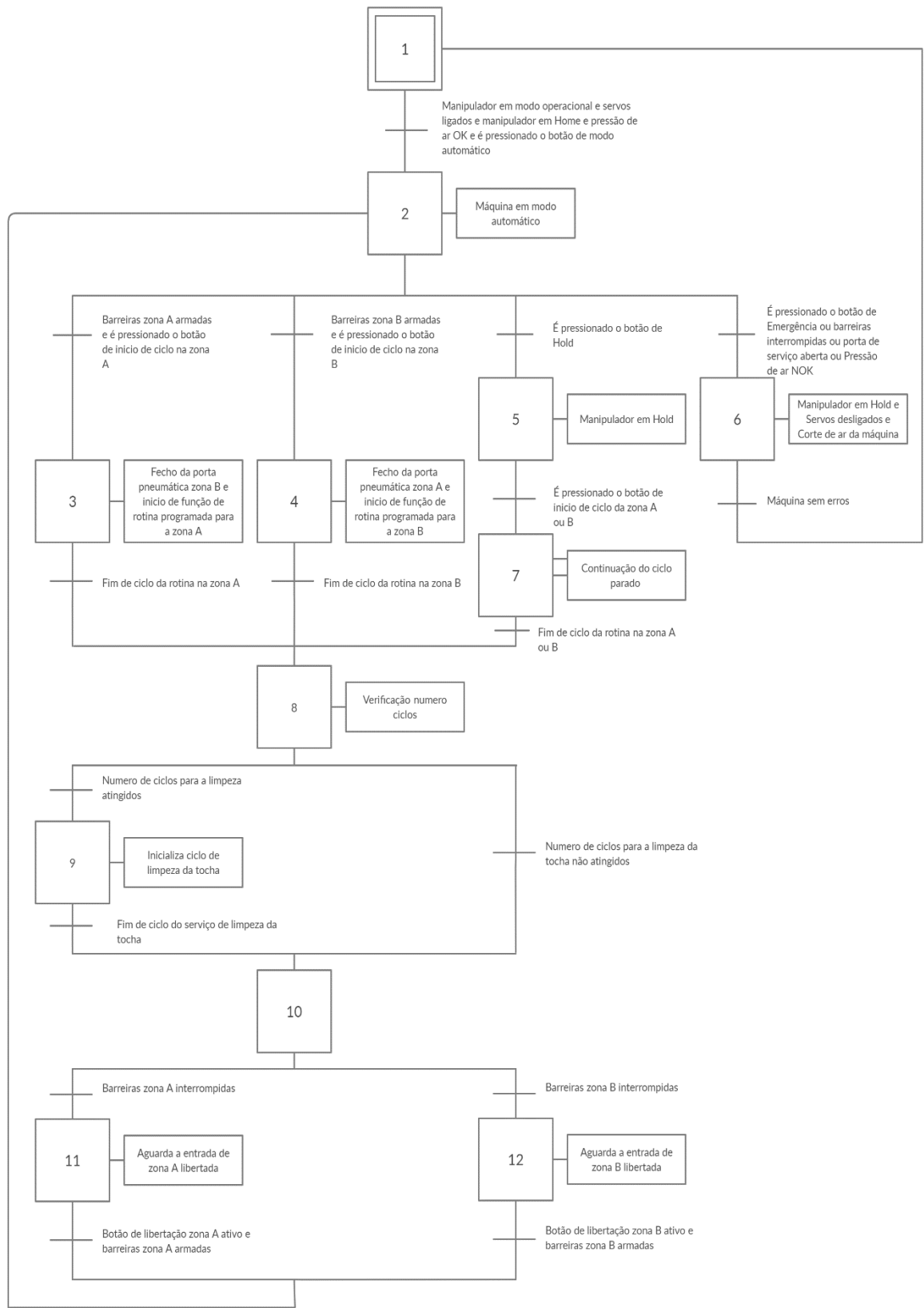


Figura 3.23: GRAFCET modo automático máquina de dois lados de operação.

### 3.2.4 Human Machine Interface (HMI)

A solução de HMI para grande parte dos projetos realizados durante o estágio foi o modelo KTP700 Basic color PN da Siemens (Figura 3.24).

Uma vez que é uma interface totalmente programável via TIA Portal, existe a capacidade de não apenas controlar saídas do PLC como apresentar estados de variáveis do próprio modo a apresentar ao operador. Estas variáveis variam desde estados de componentes de segurança, como barreiras óticas, ao estado de uma luminária dentro da própria máquina.

Todo este conjunto de características possibilita o controlo e monitorização total pelo operador sem que tenha de interromper a produção onde máquina esteja inserida, uma vez que não tem de verificar fisicamente no interior da máquina o estado de cada componente a monitorizar.



Figura 3.24: HMI KTP700 Basic PN.

O KTP700 Basic color PN da Siemens é um *display* de 7 polegadas *touch screen* com processador *Advanced RISC Machine* (ARM) e armazenamento de 10 Mbytes. Procedeu-se à escolha deste devido à possibilidade de conectividade via PROFINET ao PLC Siemens usado (Figura 3.25), seja por *Transmission Control Protocol/Internet Protocol* (TCP/IP), *Dynamic Host Configuration Protocol* (DHCP), *Simple Network Management Protocol* (SNMP), *Discovery and basic Configuration Protocol* (DCP) ou *Link Layer Discovery Protocol* (LLDP) [28].

O modelo apresenta função de alarme, onde permite a designação de até 32 classes de alarmes com mensagens até 1000 bits, permitindo a apresentação instantânea ao operador de algum erro existente [28].

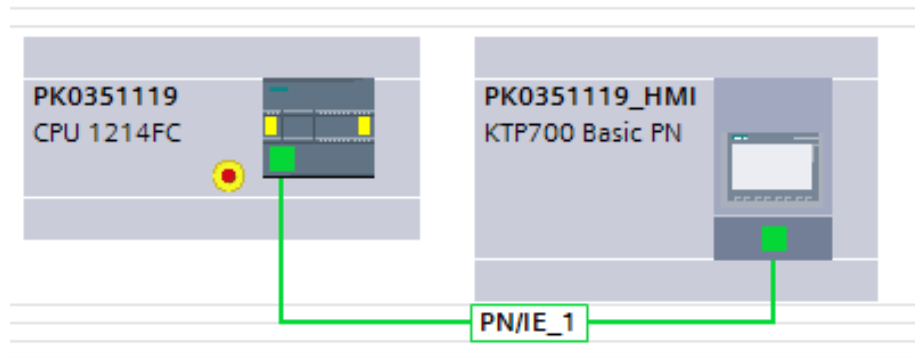


Figura 3.25: Interligação entre Simatic S7-1200 e o HMI KTP700 Basic PN.

Este HMI normalmente substitui grande parte das interfaces físicas presentes no quadro que controlariam saídas do autómato como é apresentado na Figura 3.26, um caso de uma máquina, igualmente projetada e construída na Paka, com botoneiras em vez de uma HMI no quadro elétrico.



Figura 3.26: Botoneira de controlo implementada na lateral do quadro elétrico [1].

A HMI é usualmente colocada na porta do quadro elétrico da máquina ou numa estrutura cúbica na parte frontal da máquina (Figura 3.27), denominado por *Operator Panel* (OP). Sendo assim feita a abertura de modo a colocar o *display* tanto no OP como na porta do quadro elétrico.



Figura 3.27: Possibilidade de colocação do OP na parte frontal da máquina [1].

O OP tem como função de comando e monitorização por parte do utilizador na parte frontal da máquina.

É constituído pelo botão de emergência que corta qualquer tipo de movimento a ser realizado tanto pelo robô, como de qualquer motor de forma a garantir a maior segurança ao operador. Para além disto, possui botões de ações usuais para o funcionamento de rotina da máquina, como o *start*, parar o ciclo, o rearme de barreiras óticas quando são interrompidas por algum motivo, seja funcional ou por acidente.

De modo a ligar ao quadro elétrico estes botões de ação e uma possível luminária de estados de funcionamento, na alimentação do HMI, é normalmente usado um cabo de 25 fios com secção de 0,75 milímetros cada. Para ligar o HMI ao PLC é usado um *Category 5 cable* (CAT5)<sup>4</sup> para uma conexão estável e velocidades de transferência de dados de até 5 Gbps.

#### 3.2.4.1 Funções Desenvolvidas na Consola HMI

Foram desenvolvidos vários menus na HMI de forma intuitiva e centralizada, de modo a que o operador consiga definir modos de operação da máquina, executar movimentos manuais nas barreiras de segurança, chamar programas específicos do robô e consiga aceder a toda a informação que é recolhida nos sensores e estados devolvidos ao PLC pelo próprio controlador do robô.

---

<sup>4</sup> Classe de cabo de comunicações usado em cablagem estruturada para estabelecer comunicação via Ethernet.

O primeiro menu que o operador encontra ao iniciar a máquina, é o menu inicial, onde consegue seleccionar entre dois idiomas, o pretendido para prosseguir para o menu seletor.



Figura 3.28: Menu Inicial [1].

Legenda:

- A- seletores de idioma;
- B- seletor para ecrã seguinte.

Após seleccionar o idioma pretendido e prosseguir para o menu seguinte, o que encontra é o menu seletor.

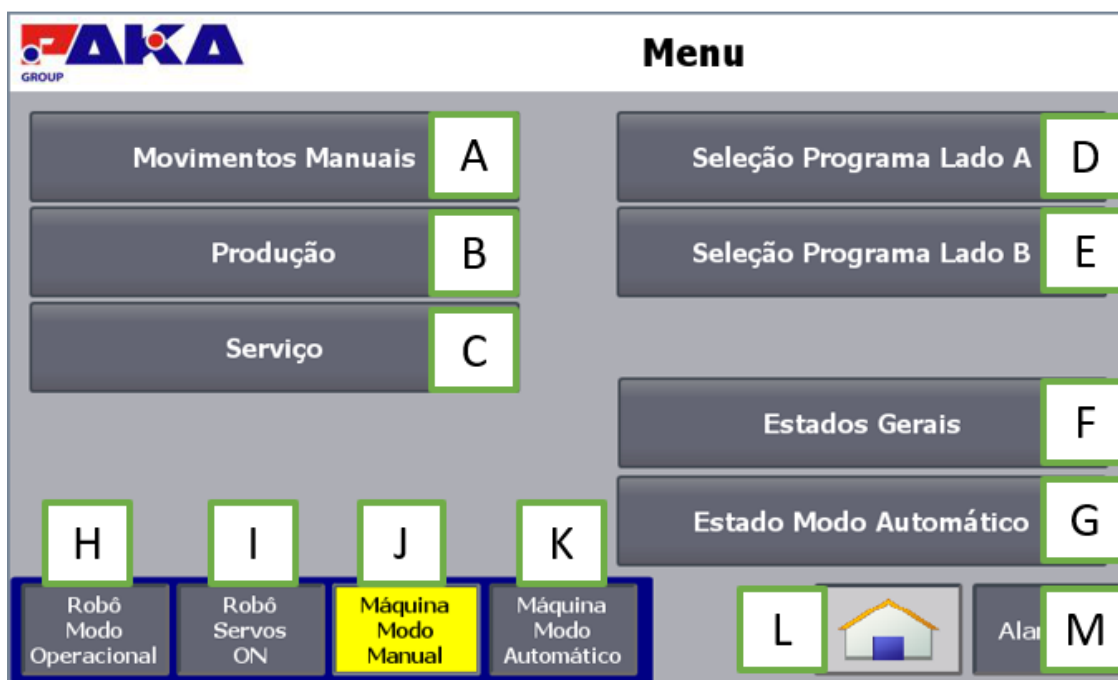


Figura 3.29: Menu Seletor [1].

Legenda:

- A- seletor - movimentos manuais portas pneumáticas;
- B- seletor - de monitorização de produção;
- C- seletor - seleção de serviços;
- D- seletor - seleção programa lado A;
- E- seletor - seleção programa lado B;
- F- seletor - estados gerais;
- G- seletor - estado modo automático;
- H- botão de ativação do modo automático do robô;
- I- botão de ativação dos servos do robô;
  - a ativação dos servos só é permitida se o robô se encontrar em modo automático.
- J- botão - modo manual da máquina;
- K- botão - modo automático da máquina;
  - este modo só pode ser ativado se o robô tiver recebido a instrução para entrar em modo automático e ligar os servos.
- L- seletor - menu inicial;
- M- seletor - menu de alarmes.
  - este seletor varia entre vermelho e a cor inicial caso haja alguma mensagem ou erro a mostrar ao operador.

Após a seleção do menu Movimentos Manuais no Menu Seletor, é mostrada a seguinte configuração de botões de atuação nas portas pneumáticas de segurança de ambos os lados de operação da máquina e as condições necessárias para a sua atuação.



Figura 3.30: Menu movimentos manuais portas pneumáticas [1].

Legenda:

- A- botão para abertura manual da porta pneumática de segurança do lado A;
- B- botão para fecho manual da porta pneumática de segurança do lado A;
- C- botão para abertura manual da porta pneumática de segurança do lado B;
- D- botão para fecho manual da porta pneumática de segurança do lado B.

Os botões de abertura e fecho manuais apenas atuam quando as condições seguintes são válidas, demonstrando no indicador a verde caso sejam:

- 1- o robô encontra-se na posição inicial definida;
- 2- a porta de serviço encontra-se fechada;
- 3- o botão de emergência não está premido;
- 4- os servos do robô encontram-se desligados;
- 5- a pressão de ar na máquina encontra-se dentro dos limites definidos;
- 6- para movimentar a barreira pneumática de segurança do lado A, a barreira ótica do lado A tem de estar armada;
- 7- para movimentar a barreira pneumática de segurança do lado B, a barreira ótica do lado B tem de estar armada.

Após a seleção do menu Produção no Menu Seletor, é mostrada a seguinte configuração de contadores de peças produzidas pelos diferentes ciclos do robô no respetivo lado de operação.



Figura 3.31: Menu de monitorização de produção [1].

Legenda:

- A- indicador de quantas peças foram produzidas no lado A;
- B- indicador de quantas peças foram produzidas no lado B;

- C- botão de reinício de contagem de peças produzidas no lado A;
- D- botão de reinício de contagem de peças produzidas no lado B.

Após a seleção do menu Serviço no Menu Seletor, é mostrada a seguinte configuração de botões de chamada de programas de serviço do manipulador e também as condições necessárias para a inicialização dos mesmos.

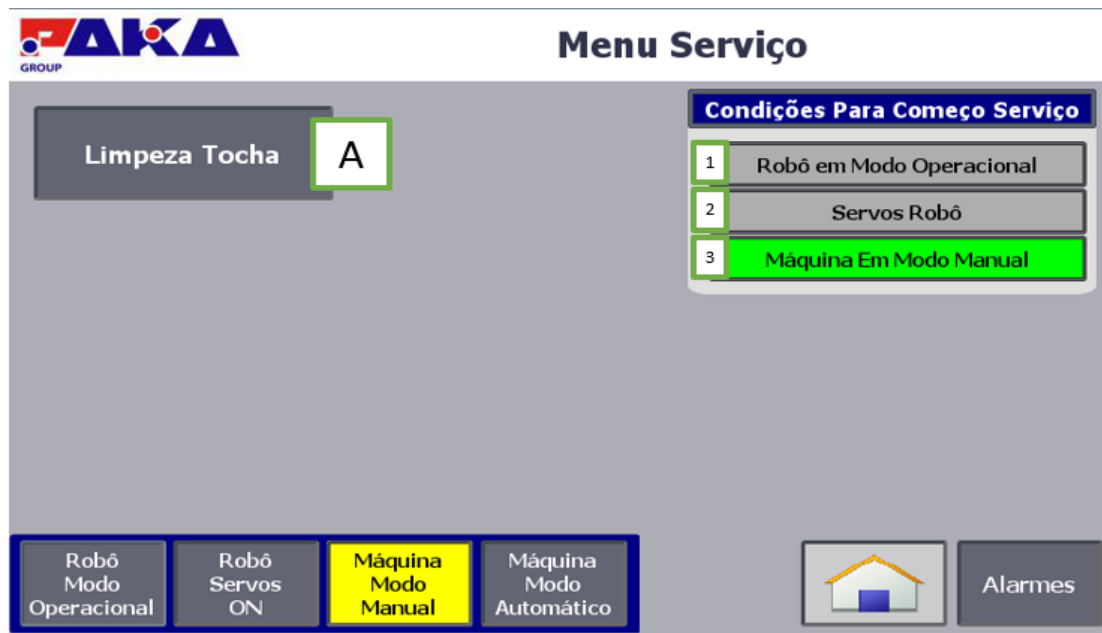


Figura 3.32: Menu de seleção de serviços [1].

Legenda:

- A- botão de chamada de programa de limpeza da tocha do robô;

Os botões de serviço manual apenas atuam quando as condições seguintes são válidas, ficando a verde caso sejam:

- 1- o robô encontra-se em modo automático;
- 2- os servos do robô estão ligados;
- 3- a máquina encontra-se em modo manual.

Em diferentes modelos de máquinas existem outro tipo de serviços que podem ser apresentados neste ecrã de seleção, sujeitos às mesmas condições de ativação, sendo executados fisicamente na área mostrada na Figura 3.33.

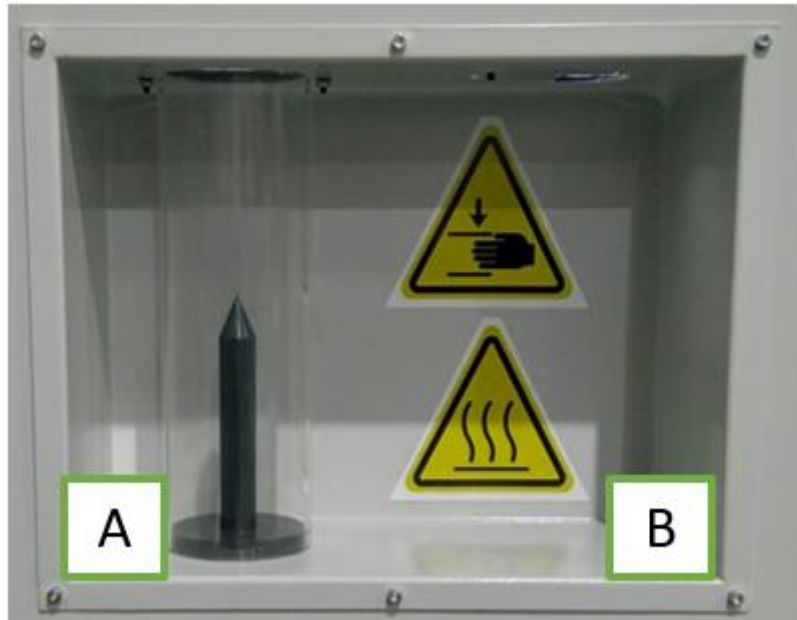


Figura 3.33: Área da máquina onde são executados: A -*TCP Check* e B- *Tip Change*.

- A- *TCP Check*: É verificada a precisão da tocha com a inserção da ponta da tocha na área A, realizando uma rotação da mesma sobre a ponta cónica. Se for verificada a continuidade de contacto entre a ponta da tocha e a ponta cónica, a tocha está calibrada. Caso não seja, a tocha necessita de calibração.
- B- *Tip Change*: É uma chamada de um serviço, onde a tocha se desloca para a área B para uma verificação ou troca da ponta, uma vez que se pode encontrar degradada com o decorrer dos seus ciclos de trabalho.

Após a seleção do menu Seleção Programa Lado A (Figura 3.34) ou Seleção Programa Lado B, no Menu Seletor, é demonstrado um conjunto de possibilidades de programas de execução do robô em modo automático para o lado A ou B, respetivamente, da máquina.



Figura 3.34: Menu seleção programa lado A [1].

Legenda:

- A- seletores de programa de execução do robô para o modo automático.
  - O programa será chamado quando for pressionado o botão de início de ciclo na botoneira do lado respetivo.
- B- botão de confirmação do programa para uma dupla verificação do programa selecionado.
  - Este apresenta uma cor verde quando for selecionado um programa com sucesso
- C- botão que reinicia o programa selecionado, fazendo com que não exista nenhum programa associado ao lado respetivo da máquina quando for pressionado o botão de início de ciclo desse lado.

Após a seleção do menu Estados Gerais (Figura 3.35), no Menu Seletor, é demonstrado de modo centralizado um conjunto de estados da máquina, variando para a cor verde caso esse estado seja verdadeiro.



Figura 3.35: Menu estados gerais [1].

Legenda:

- A- indicador do estado automático da máquina;
- B- indicador do correto estado de pressão de ar na máquina;
- C- indicador do estado do botão de início de ciclo do lado A;
- D- indicador do estado manual da máquina;
- E- indicador do estado fechado da porta de serviço;
- F- indicador do estado do botão de início de ciclo do lado B;
- G- indicador do estado do botão de emergência;
- H- indicador do modo *Hold* do robô;
- I- indicador do modo *Teach* do robô;
- J- indicador da localização do robô na posição inicial;
- K- indicador do estado do robô em modo operacional;
- L- indicador de fim de ciclo de operação no lado A;
- M- indicador do estado dos servos do robô;
- N- indicador de fim de ciclo de operação no lado B;
- O- seletor do menu dos estados das portas pneumáticas.

Após a seleção do menu Estado Gerais Portas (Figura 3.36), no menu Estados Gerais, é demonstrado os estados das portas pneumáticas de segurança de ambos os lados da máquina, variando para a cor verde caso esse estado seja verdadeiro.



Figura 3.36: Menu estados gerais das portas pneumáticas [1].

Legenda:

- A- indicador do estado aberto da porta pneumática do lado A;
- B- indicador do estado fechado da porta pneumática do lado A;
- C- indicador do estado aberto da porta pneumática do lado B;
- D- indicador do estado fechado da porta pneumática do lado B.

Após a seleção do menu Estado para Modo Automático (Figura 3.37), no Menu Seletor, é demonstrado de modo centralizado um conjunto de estados da máquina que condicionam o início de ciclo em cada lado de operação, variando para a cor verde caso cada estado seja verdadeiro.

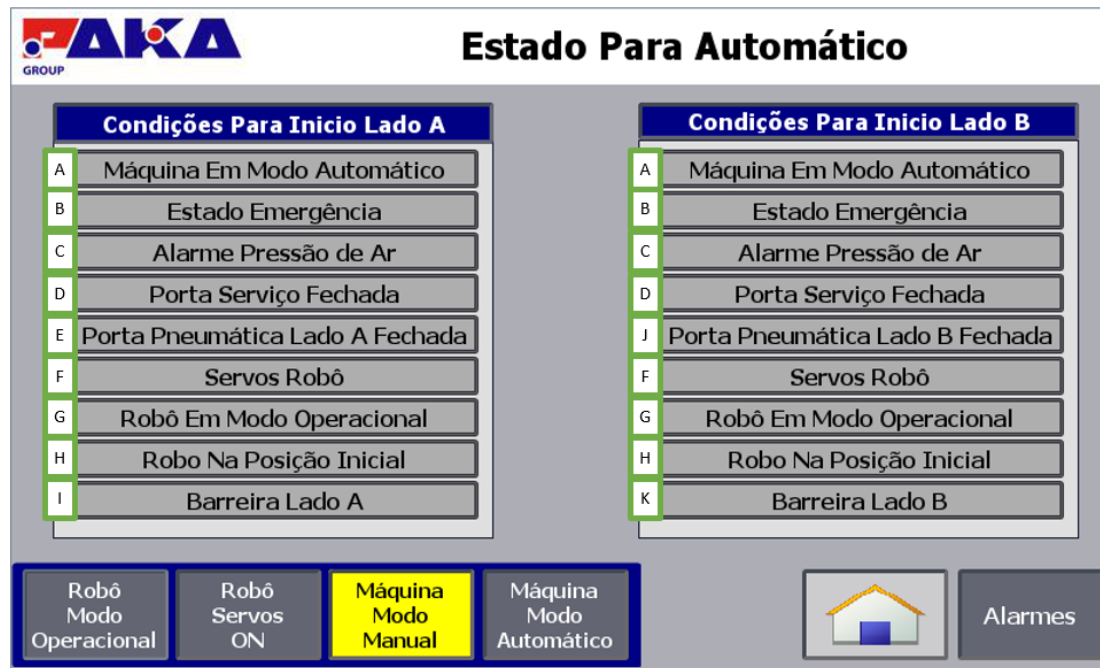


Figura 3.37: Menu estado para automático [1].

Legenda:

- A- indicador do estado automático da máquina;
- B- indicador do estado do botão de emergência;
- C- indicador do correto estado de pressão de ar na máquina;
- D- indicador do estado fechado da porta de serviço;
- E- indicador do estado aberto da porta pneumática do lado A;
- F- indicador do estado dos servos do robô;
- G- indicador do estado do robô em modo operacional;
- H- indicador da localização do robô na posição inicial;
- I- indicador de barreiras óticas de segurança armadas do lado A;
- J- indicador do estado aberto da porta pneumática do lado B;
- K- indicador de barreiras óticas de segurança armadas do lado B.

Após a seleção do menu Alarmes, no Menu Seletor (Figura 3.38), são apresentados os alarmes, erros e mensagens do sistema da máquina que condicionam o início de qualquer ação na máquina.



Figura 3.38: Menu alarmes [1].

A máquina em questão possui diversos alarmes que informam o operador através de uma mensagem de alerta, de modo a atuar de forma precisa no erro demonstrado.

As mensagens de alarme podem ser configuradas para serem mostradas mediante diversos parâmetros, sendo algumas delas as seguintes:

- robô fora da posição inicial;
- máquina não OK para modo automático;
- emergência ativada;
- alarme pressão de ar;
- robô em erro;
- porta de serviço aberta;
- programa não selecionado lado A;
- programa não selecionado lado B;
- portas pneumáticas não abertas para automático;
- barreira não OK lado A;
- barreira não OK lado B.

### 3.2.5 Segurança Implementada

Cada lado de operação possui diversos dispositivos e métodos de segurança (barreiras óticas, portas pneumáticas, porta de serviço e botoneiras de validação e rearme) que garantem a proteção do operador e o bom funcionamento da máquina, tendo sido calibrados, configurados e testados durante a montagem da máquina.

- Barreiras óticas

Barreiras de segurança óticas (Figura 3.39), foram implementadas na entrada de cada zona de operação, A e B. É um sistema constituído por um emissor e um recetor de luz infravermelha formando uma rede de feixes de luz, que ao serem interrompidos, enviam um sinal para o PLC de forma a atuar medidas de segurança.

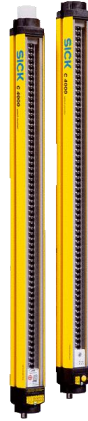


Figura 3.39: Barreiras Óticas SICK [29].

- Portas pneumáticas

As portas pneumáticas (Figura 3.40), são obstáculos pneumáticos que se movem verticalmente com o objetivo de bloquear a visão do operador que se encontra do lado oposto ao que se encontra a ser utilizado pelo manipulador, protegendo assim a visão da emissão de luz de alta intensidade provocada pelo processo de soldadura.



Figura 3.40: Portas pneumáticas de segurança.

- Porta de serviço

A porta de serviço (Figura 3.41), é a entrada do operador para o interior da máquina, possibilitando manutenção ou ajustes necessários. A porta é fechada por um trinco que, por sua vez, possui dois contactos que ao serem interrompidos pela abertura da porta, produzem a ativação de medidas de segurança por parte do PLC.



Figura 3.41: Porta de serviço.

- Botoneiras de validação e rearme

Neste projeto foi necessário um sistema que verificasse a ausência de um operador no interior da máquina de modo a proceder ao serviço em cada zona de operação, por isso, para além das barreiras óticas, procedeu-se à colocação de uma botoneira no interior da zona de operação (botoneira B da Figura 3.42), deste modo, quando o operador termina a tarefa na zona de operação, valide a libertação da zona. Sendo assim, a inicialização da tarefa pelo manipulador só é permitida quando existe validação da zona de operação, sendo rearmadas as barreiras e pressionado o botão de *Start* na botoneira A da Figura 3.42.



Figura 3.42: Botoneiras de uma zona de operação.

Legenda:

- A- botoneira com função de rearme de barreiras, *hold* do manipulador, *start* de serviço, botão de emergência e informação de sistema pronto para o serviço.
- B- botoneira de validação de zona de operação e botão de emergência.

### **3.3 Conclusões do Capítulo**

A montagem de uma máquina requer um domínio de todos os processos necessários que cumpram com a visão e dimensionamento do projeto realizado pela empresa e também com as exigências do cliente. Contudo, é um processo demorado que é apenas possível com a cooperação e experiência de uma equipa preparada para entregar um produto final.

É, sem dúvida, importante salientar que o acompanhamento de outros projetos ao longo do estágio revelou-se uma mais valia para a realização de um projeto ao pormenor, pois foi uma forma de consolidar conhecimentos e métodos de trabalho para a realização dos diversos processos que levam à conclusão de máquinas para soldadura industrial.



## 4 TESTES

A primeira abordagem na realização do teste de uma máquina na empresa, que é pela primeira vez alimentada, passa por testar cada componente individualmente, de modo a que caso seja detetado algum mau funcionamento, se possa classificar como um problema de *hardware* ou de *software*.

Caso exista algum problema relacionado com *hardware* da máquina, é retirado o componente e são verificadas as suas ligações. No caso de apresentar um mau funcionamento ao nível da sua programação é verificado o algoritmo construído, de maneira a que origine o comportamento esperado. Os testes de qualidade realizados podem ser divididos em três principais categorias.

### 4.1 Testes das Funções Realizadas no PLC

Ao longo do desenvolvimento e após o término da criação das funções destinadas ao autómato no *software* da Siemens (TIA Portal), é necessário realizar testes com o objetivo de observar se a resposta do mesmo era a esperada. Este tipo de teste tem como principal foco a verificação de entradas e saídas do PLC. Para tal, é usada uma ferramenta de verificação, disponibilizada no próprio *software*, em tempo real dos estados das variáveis, denominada por Monitor. Ao habilitar esta ferramenta, o *software* indica de forma gráfica o seu estado, mediante a função do programa a monitorizar.

É possível, neste modo, verificar o estado das I/O na função a analisar. Na Figura 4.1, é possível verificar o estado das diferentes variáveis, marcada a verde caso a condição seja verdadeira e azul caso esta seja falsa.

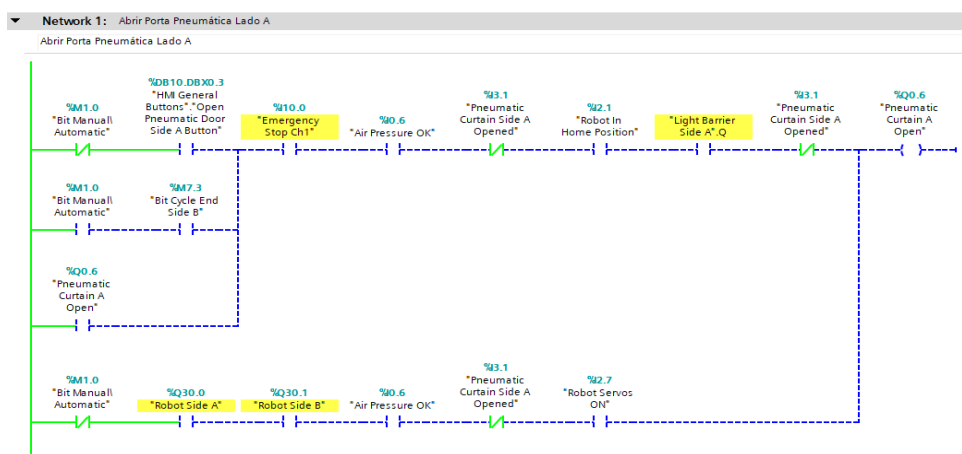


Figura 4.1: Ferramenta monitor ativa no algoritmo de abertura da porta pneumática do lado A.

A ferramenta Monitor, permite também verificar os estados das variáveis sem analisar uma função particular, ao ser ativada na tabela PLC Tags no *software* TIA Portal (Figura 4.2).

PLC tags									
	Name	Tag table	Data type	Address ▲	Retain	Acces...	Writa...	Visibl...	Monitor value
52	System ok side A	Default tag table	Bool	%Q0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> FALSE
53	Job Reserve Side B Output	Default tag table	Bool	%Q0.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> FALSE
54	System ok side B	Default tag table	Bool	%Q0.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> FALSE
55	Robot in Home	Default tag table	Bool	%Q0.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> FALSE
56	Start Robot Output	Default tag table	Bool	%Q0.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> FALSE
57	Pneumatic Curtain A Open	Default tag table	Bool	%Q0.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> FALSE
58	Pneumatic Curtain A Close	Default tag table	Bool	%Q0.7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> FALSE
59	Pneumatic Curtain B Open	Default tag table	Bool	%Q1.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> FALSE
60	Pneumatic Curtain B Close	Default tag table	Bool	%Q1.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> FALSE
61	Area Clear Side A Output	Default tag table	Bool	%Q2.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> FALSE
62	Area Clear Side B Output	Default tag table	Bool	%Q2.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> FALSE
63	Light Barriers side A output	Default tag table	Bool	%Q2.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> TRUE
64	Light Barriers side B output	Default tag table	Bool	%Q2.7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> TRUE
65	Hold Robot Output	Default tag table	Bool	%Q3.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> FALSE
66	Servos On Output	Default tag table	Bool	%Q3.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> FALSE
67	Auto Mode Rob	Default tag table	Bool	%Q3.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> FALSE
68	Strobe Robot Output	Default tag table	Bool	%Q3.7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> FALSE
69	Program Bit 1 Output	Default tag table	Bool	%Q4.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> FALSE
70	Program Bit 2 Output	Default tag table	Bool	%Q4.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> FALSE
71	Program Bit 4 Output	Default tag table	Bool	%Q4.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> FALSE
72	Program Bit 8 Output	Default tag table	Bool	%Q4.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> FALSE
73	Program Bit 16 Output	Default tag table	Bool	%Q4.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> FALSE
74	Program Bit 32 Output	Default tag table	Bool	%Q4.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> FALSE
75	Program Bit 64 Output	Default tag table	Bool	%Q4.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> FALSE
76	Program Bit 128 Output	Default tag table	Bool	%Q4.7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> FALSE
77	Access Door Out.	Default tag table	Bool	%Q20.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> FALSE
78	Safety Side A	Default tag table	Bool	%Q20.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> FALSE
79	Safety Side B	Default tag table	Bool	%Q20.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> FALSE
80	Air Pressure Valve	Default tag table	Bool	%Q20.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> FALSE
81	Robot Side A	Default tag table	Bool	%Q30.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> FALSE
82	Robot Side B	Default tag table	Bool	%Q30.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> FALSE

Figura 4.2: Ferramenta monitor ativa na tabela PLC Tags.

## 4.2 Testes das Rotinas do Manipulador

Os testes realizados ao manipulador passam por verificar a presença de alguma anomalia nas I/O do manipulador e se os programas de rotina (ação no lado A, ação do lado B e limpeza da tocha), programados na construção da máquina, não são suscetíveis a causar danos à máquina ou ao próprio manipulador. Os programas de rotina são corridos individualmente em modo Teste a partir da própria consola do manipulador. Seguidamente, é realizado um teste menos minucioso, colocando a máquina em modo automático, sendo que representará a rotina da máquina como produto final.

## 4.3 Testes de Segurança da Máquina

A verificação dos dispositivos e métodos de segurança que garantem a segurança do operador são cruciais numa fase de testes, levando a um ciclo de testes exaustivo, que garantem que qualquer ação do operador dentro da máquina seja segura. É verificado o bom funcionamento de cada módulo de segurança (barreiras óticas, portas pneumáticas, porta de serviço e botoneiras de validação e rearme) consoante os programas implementados no autómato e no manipulador. Estes testes passam pela interrupção de cada módulo enquanto a máquina executa uma rotina, garantindo assim a segurança do operador na aplicação final.

#### **4.4 Conclusões do Capítulo**

Uma das fases mais importantes na montagem de uma máquina são os testes realizados no final da mesma. Serão testadas todas as ligações físicas, integridade da construção, algoritmos programados, tanto no manipulador como no PLC e é verificado o bom funcionamento da máquina num ambiente de rotina, garantindo um produto final de qualidade pronto a ser entregue nas instalações do cliente.



## 5 CONCLUSÃO

O presente relatório de estágio curricular teve como objetivo descrever as diferentes etapas que tive a oportunidade de participar, que levaram à conceção de várias máquinas na empresa Paka Robotics. Este processo de aprendizagem foi bastante enriquecedor, uma vez que houve a oportunidade de passar por diversas áreas, desde a aplicação de esquemas mecânicos e elétricos, à programação do autómato e manipulador para a realização de um produto pronto a ser entregue ao cliente.

O acompanhamento da produção de diferentes modelos de máquinas para soldadura, revelou-se extremamente importante para um início de estágio, dado que possibilitou uma compreensão do modo de funcionamento e construção dos diferentes modelos, o funcionamento da empresa e os seus métodos de trabalho. Desta forma, foi possível uma melhor integração na equipa inserida e um melhor método de trabalho quando surgiu a altura de realizar o projeto autonomamente.

A construção de uma máquina industrial destinada à soldadura necessita de uma equipa experiente que domine diferentes áreas, capaz de produzir um produto de qualidade no intervalo de tempo projetado. A realização das tarefas efetuadas durante o estágio, foram possíveis através de conhecimentos adquiridos ao longo do percurso académico e de conhecimentos vastos adquiridos com a equipa da Paka. Dos conhecimentos adquiridos de diferentes áreas destacam-se, a área da automação industrial, programação e configuração de manipuladores industriais, HMI, instalações elétricas e eletrónica.

Em suma, a realização deste estágio foi crucial para uma melhor compreensão do mercado de trabalho, da aplicação de áreas lecionadas ao longo do percurso académico e para realçar a importância de uma equipa com boa relação para que o trabalho se realize de forma síncrona e com qualidade.



## 6 REFERÊNCIAS

- [1] Paka Group Lda., Válega: <https://paka.pt/>, 2020.
- [2] P. Nieuwenhuis e P. Wells, *The Automotive Industry and the Environment*, USA: CRC Press LLC & Woodhead Publishing Ltd, 2003.
- [3] A. S. M. Mena, “Poéticas, Métodos e Procedimentos,” *ESCULTURA EM METAL NO SÉCULO XX*, pp. 116-122, 2019.
- [4] M. Russell, “WELDING TORCH”. United States Patente US2274631A, 24 02 1942.
- [5] R. J. S. a. E. R. Bohnart, *Welding Principles and Practices*, New York: Third Edition, McGraw-Hill Education, 2005.
- [6] The Open University, “Gas shielded arc welding processes (TIG/MIG/MAG),” 8 03 2018. [Online]. Available: <https://www.open.edu/openlearn/science-maths-technology/engineering-technology/manupedia/gas-shielded-arc-welding-processes-tig/mig/mag>. [Acedido em 19 05 2020].
- [7] Asadi Parviz, Kazemi-Choobi Kamel e Elhami Amin, “Welding of Magnesium Alloys,” 01 07 2012. [Online]. Available: [https://www.researchgate.net/figure/Effect-of-polarity-on-GTAW-weld-configuration-when-using-direct-current-a-DCEN-deep\\_fig14\\_235996056](https://www.researchgate.net/figure/Effect-of-polarity-on-GTAW-weld-configuration-when-using-direct-current-a-DCEN-deep_fig14_235996056). [Acedido em 22 05 2020].
- [8] A. Q. Bracarense, “Processo de Soldagem TIG - GTAW,” Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2000.
- [9] Izzatul Aini Ibrahim, Syarul Asraf Mohamat, Amalina Amir e Abdul Ghalib, “The Effect of Gas Metal Arc Welding (GMAW) processes on different,” *International Symposium on Robotics and Intelligent Sensors 2012 (IRIS 2012)*, 2012.
- [10] V. Carrara, “Introdução à robótica Industrial,” 10 2015.
- [11] B. Kehal, “A Look into Automation & its Different Types,” 02 08 2019. [Online]. Available: <https://medium.com/aiautomation/a-look-into-automation-its-different-types-f4266049f54d>. [Acedido em 3 06 2020].
- [12] W. Bolton, *Programmable Logic Controllers 6a edição*, USA: Newnes, 2015.
- [13] TÜV SÜD Rail GmbH, “Certification report for Siemens SIMATIC Safety,” 07 02 2019. [Online]. Available: [https://cache.industry.siemens.com/dl/files/297/57141297/att\\_974504/v1/SN92961C\\_1.1.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/297/57141297/att_974504/v1/SN92961C_1.1.pdf). [Acedido em 15 05 2020].

- [14] JOUR, B. S. K. J. S. D. Escobedo, Pedro, Karen, Ana, Lavadores, Camelo, Malynyak, Ivan, Gourgiotou, Efthymia e Efthymia, Gourgiotou, “Trainee Teachers’ Collaborative and Reflective Practicum in Kindergarten Classrooms in Greece. A Case Study Approach. - Scientific Figure on ResearchGate,” 01 01 2018. [Online]. Available: [https://www.researchgate.net/figure/Decomposition-of-1oo2D-architecture\\_fig3\\_323834705](https://www.researchgate.net/figure/Decomposition-of-1oo2D-architecture_fig3_323834705). [Acedido em 15 05 2020].
- [15] D. Ratter, “FPGAs on Mars,” *Xcell journal*, nº 50, pp. 9-11, 2004.
- [16] Wikipedia, “Triple modular redundancy,” Wikipedia, 15 03 2020. [Online]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Triple\\_modular\\_redundancy](https://en.wikipedia.org/wiki/Triple_modular_redundancy). [Acedido em 07 05 2020].
- [17] RTP Corp., “Beyond Fault Tolerance,” RTP Corp., 2009.
- [18] R. Aguillar, “Sothis Tech,” 04 09 2018. [Online]. Available: <https://www.bothis.tech/en/scada-systems-wince-open-architecture/>. [Acedido em 12 07 2020].
- [19] fandom, “Wiki Perrobótica,” [Online]. Available: [https://perrobotica.fandom.com/pt-br/wiki/Tipos\\_de\\_rob%C3%B4s](https://perrobotica.fandom.com/pt-br/wiki/Tipos_de_rob%C3%B4s). [Acedido em 03 06 2020].
- [20] P. Abreu, “Robótica Industrial,” *Aplicações industriais de robôs*, 2002.
- [21] YASKAWA ELECTRIC CORPORATION., “YASKAWA Global,” [Online]. Available: <https://www.yaskawa-global.com/product/robotics/about>. [Acedido em 03 06 2020].
- [22] S. Y. Nof, *Handbook of Industrial Robotics*, John Wiley & Sons, 1999.
- [23] Panasonic, “Panasonic,” [Online]. Available: [industrial.panasonic.com](http://industrial.panasonic.com). [Acedido em 02 05 2020].
- [24] Ministério da economia e inovação, “Diário da República Eletrónico,” *Portaria n.º 949-A/2006*, 11 09 2006.
- [25] Panasonic Corporation of North America, “TM-1800,” 20 Março 2020. [Online]. Available: <http://www.panasonicfa.com/content/tm-1800>.
- [26] TAMAGAWA SEIKI Co.,Ltd., *Servo motors*, <https://www.tamagawa-seiki.com/>.
- [27] Siemens AG, “SIMATIC Safety - Configuring and Programming,” 02 2020. [Online]. Available: [https://cache.industry.siemens.com/dl/dl-media/126/54110126/att\\_1004715/v3/130224041483/en-US/index.html#a61b40acd13908b1752d06c432fc073b](https://cache.industry.siemens.com/dl/dl-media/126/54110126/att_1004715/v3/130224041483/en-US/index.html#a61b40acd13908b1752d06c432fc073b). [Acedido em 13 05 2020].
- [28] Siemens, “SIMATIC HMI KTP700 Basic,” [Online]. Available: <https://support.industry.siemens.com/cs/pd/302298?pdtd=td&dl=en&lc=en-WW>. [Acedido em 20 06 09].
- [29] SICK, “Safety light curtains,” 2020.

## **ANEXOS**

### **Anexo I – Esquema elétrico máquina de dois lados de operação**


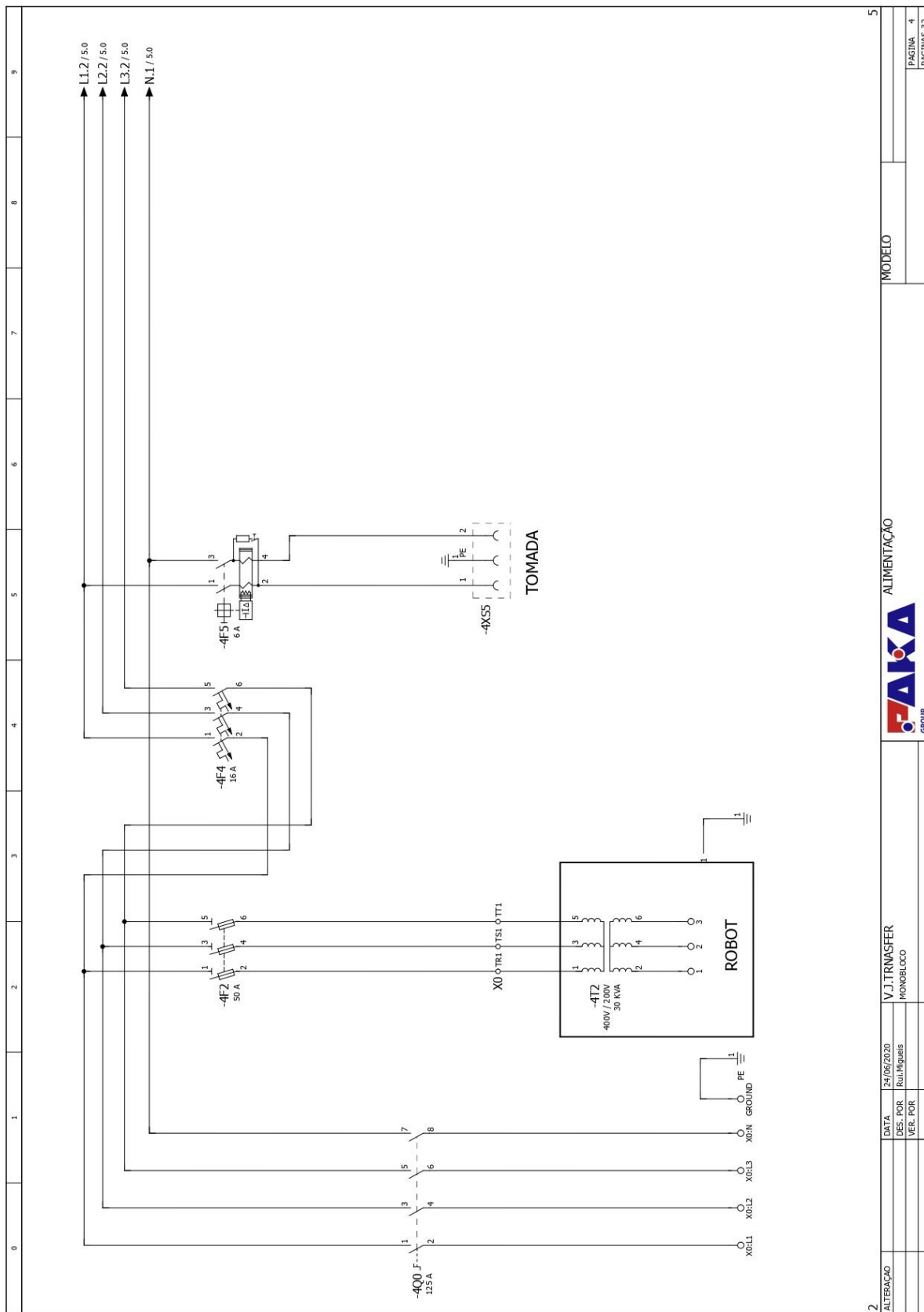
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
FPAKA_PAKA									
									
<b>PAKA ROBOTICS LDA</b> Rua Carvalho de Baixo, 1024 3880-571 Valega - Ovar Portugal +351 256 098 837 +351 256 098 836 geral@paka.pt									
<b>CLIENTE :</b> V.J.TRNASFER <b>PROJETO :</b> MONOBLOCO <b>Nº PROCESSO :</b> PK0351119			<b>ESPECIFICAÇÕES</b>  <b>POTENCIA DE ENTRADA :</b> 30 KVA <b>TENSÃO DE ALIMENTAÇÃO :</b> 3F+N+PE <b>FREQUENCIA DE ENTRADA :</b> 50 Hz <b>TENSÃO DE CONTROLO :</b> 24VDC <b>OUTRAS INFORMAÇÕES :</b>						
<b>FABRICANTE :</b> PAKA ROBOTICS LDA <b>NOME DO PROJETO :</b> PK4002 (Robot com Rail 3000mm - VJ TRANSFER ) <b>TIPO DE INSTALAÇÃO :</b> PK4002 <b>RESPONSAVEL DE PROJETO :</b> PAKA			<b>REALIZADO EM :</b> 24/06/2020 <b>ÚLTIMA ALTERAÇÃO :</b> 24/06/2020 <b>POR :</b> PAKA <b>NÚMERO DE PÁGINAS :</b> 32						
2									
ALTERAÇÃO	DATA	DES. POR	VER. POR	V.J.TRNASFER MONOBLOCO			PÁGINA INICIAL		
	12/02/2020	Rui Nogueira					MODELO		
							PÁGINA 1		
							PÁGINAS 32		

TABELA DE CONTEÚDOS

PÁGINA	DESCRIÇÃO DA PÁGINA	DATA	EDITADO POR
1	PÁGINA INICIAL		Paika
2	Table of contents : 1 - 31		Paika
4	ALIMENTAÇÃO		Paika
5	ALIMENTAÇÃO		Paika
6	ENTRADAS PLC		Paika
7	ENTRADAS PLC		Paika
8	ENTRADAS PLC		Paika
9	ENTRADAS PLC		Paika
10	SAIDAS PLC		Paika
11	SAIDAS PLC		Paika
12	SAIDAS PLC		Paika
12.a	SAIDAS PLC		Paika
13	ENTRADAS ROBOT		Paika
14	ENTRADAS ROBOT		Paika
15	ENTRADAS ROBOT		Paika
15.a	ENTRADAS ROBOT		Paika
16	SAIDAS ROBOT		Paika
17	SAIDAS ROBOT		Paika
18	SAIDAS ROBOT		Paika
19	EMERGENCIA		Paika
20	ENTRADAS SEGURANÇA		Paika
21	SAIDAS SEGURANÇA		Paika
21.a	SAIDAS SEGURANÇA		Paika
22	LIMPEZA		Paika
23	REFRIGERADOR		Paika
24	BARREIRAS LADO A		Paika
25	BARREIRAS LADO B		Paika
26	EIXOS EXTERNOS		Paika
28	PAINEL OPERADOR LADO A		Paika
29	PAINEL OPERADOR LADO A DENTRO		Paika
30	PAINEL OPERADOR LADO B		Paika
31	PAINEL OPERADOR LADO B DENTRO		Paika

TCPAKA\_POR



2

ALTERAÇÃO

DATA: 21/06/2020  
DES. POR: Rui Rodrigues  
VER. POR:

V.J. TRINAFER  
MONOBLOCO

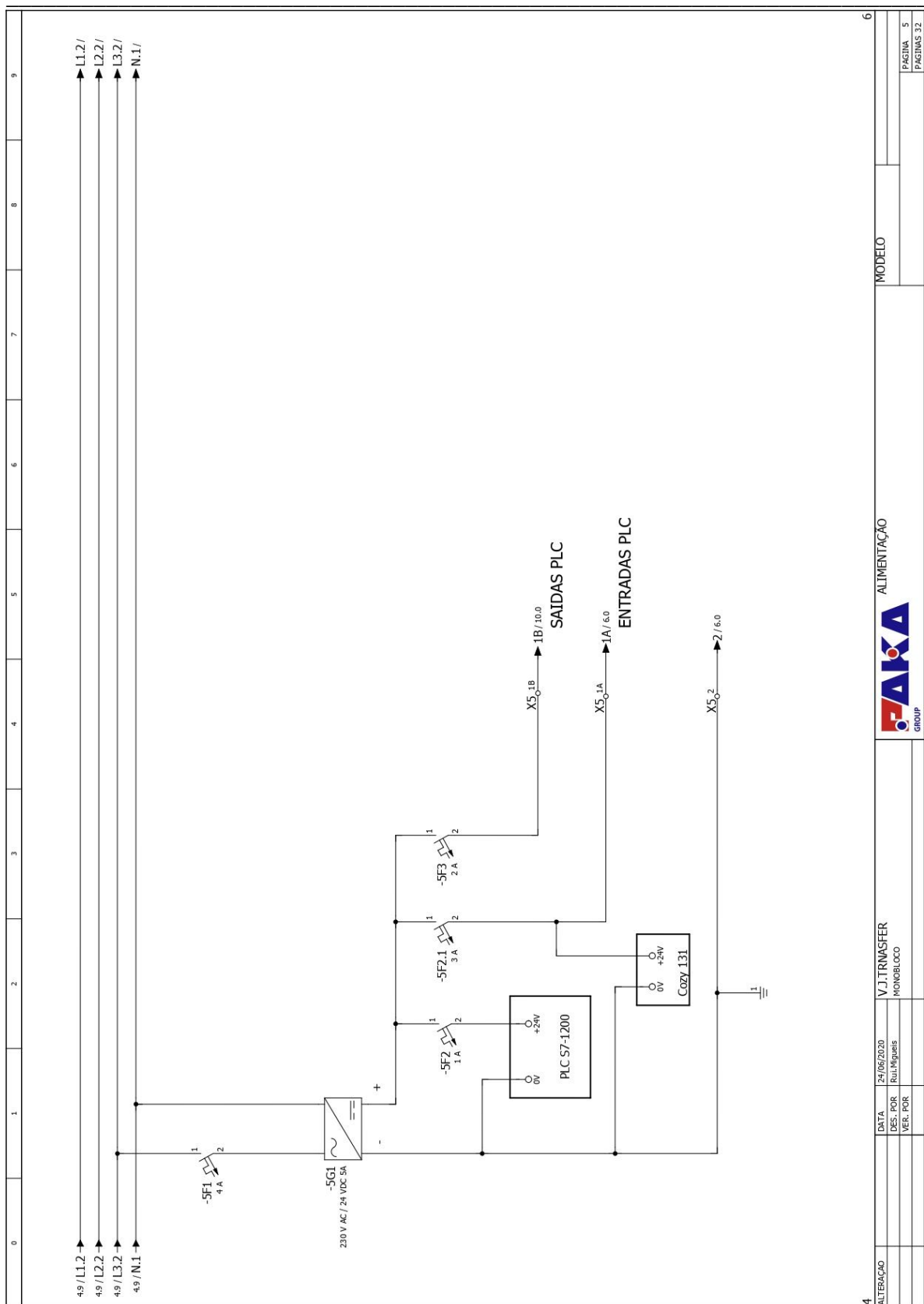
ALIMENTAÇÃO

MODELO



PÁGINA: 4  
FASCÍCULO: 32

5



6

ALTERAÇÃO	DATA	DES. POR	VER. POR	V.J. TRINAFER	ALIMENTAÇÃO	MODELO	PÁGINA 5
	24/06/2020	Rui.Pedras		MONOBLOCO			PÁGINAS 32

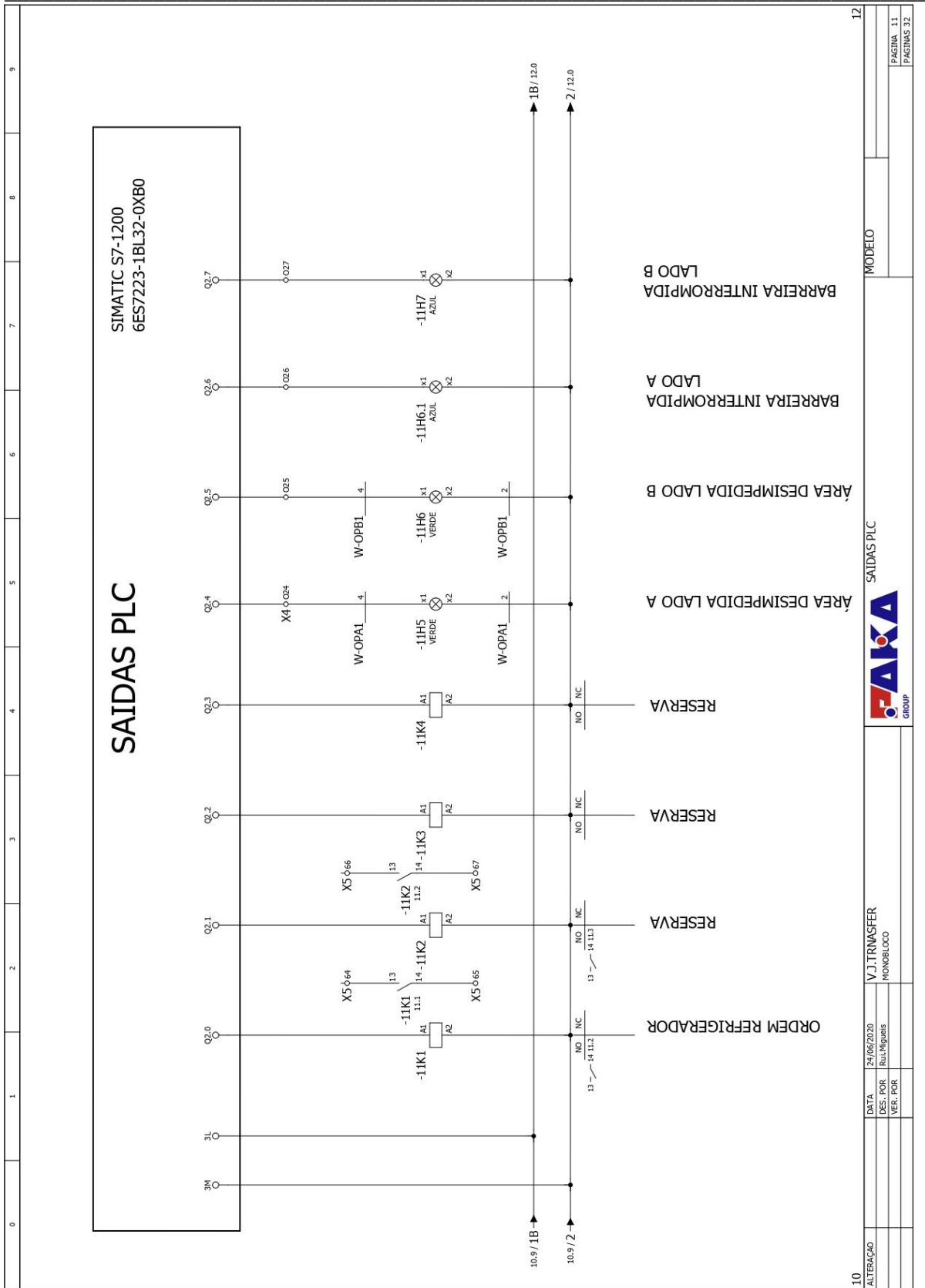




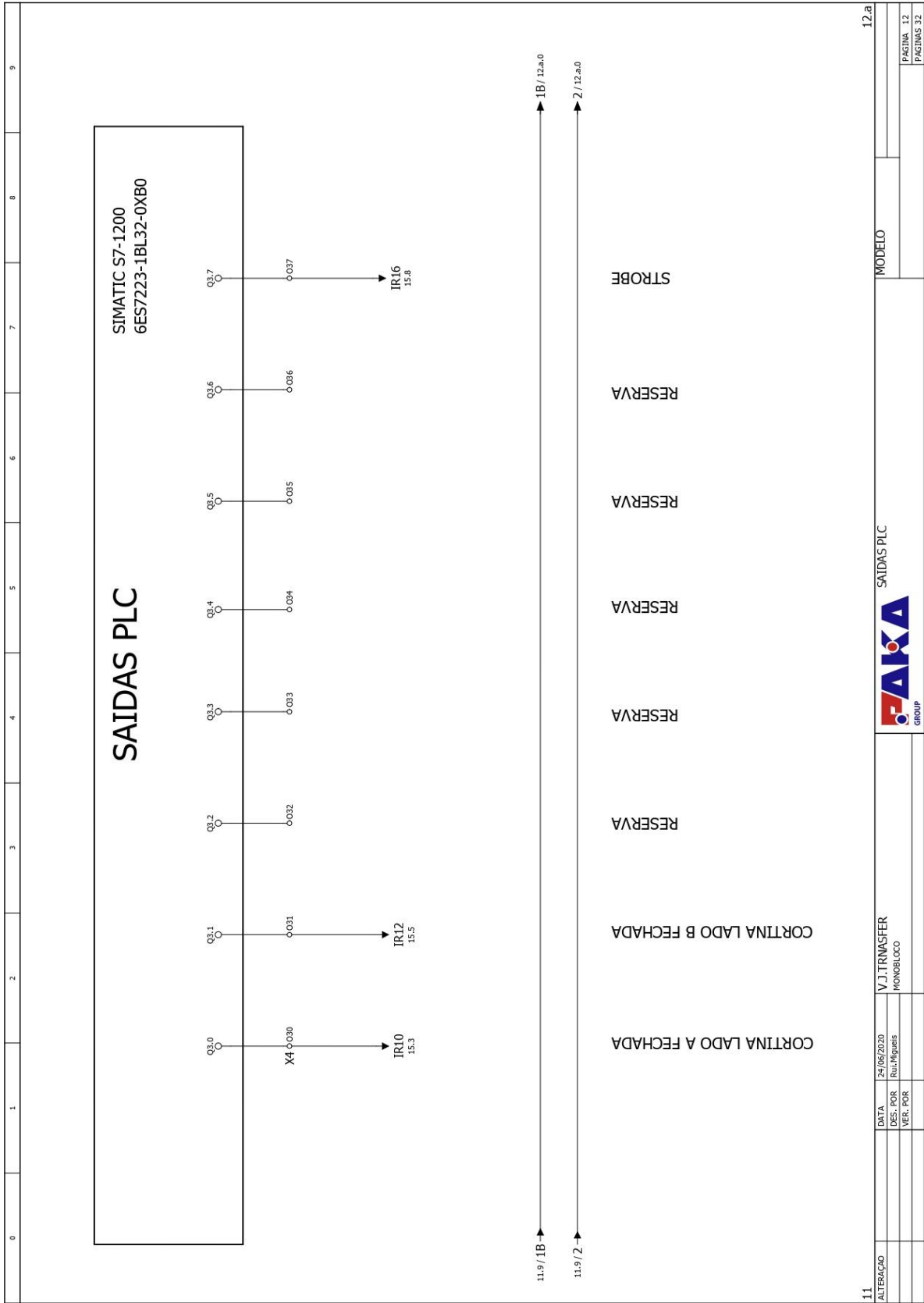


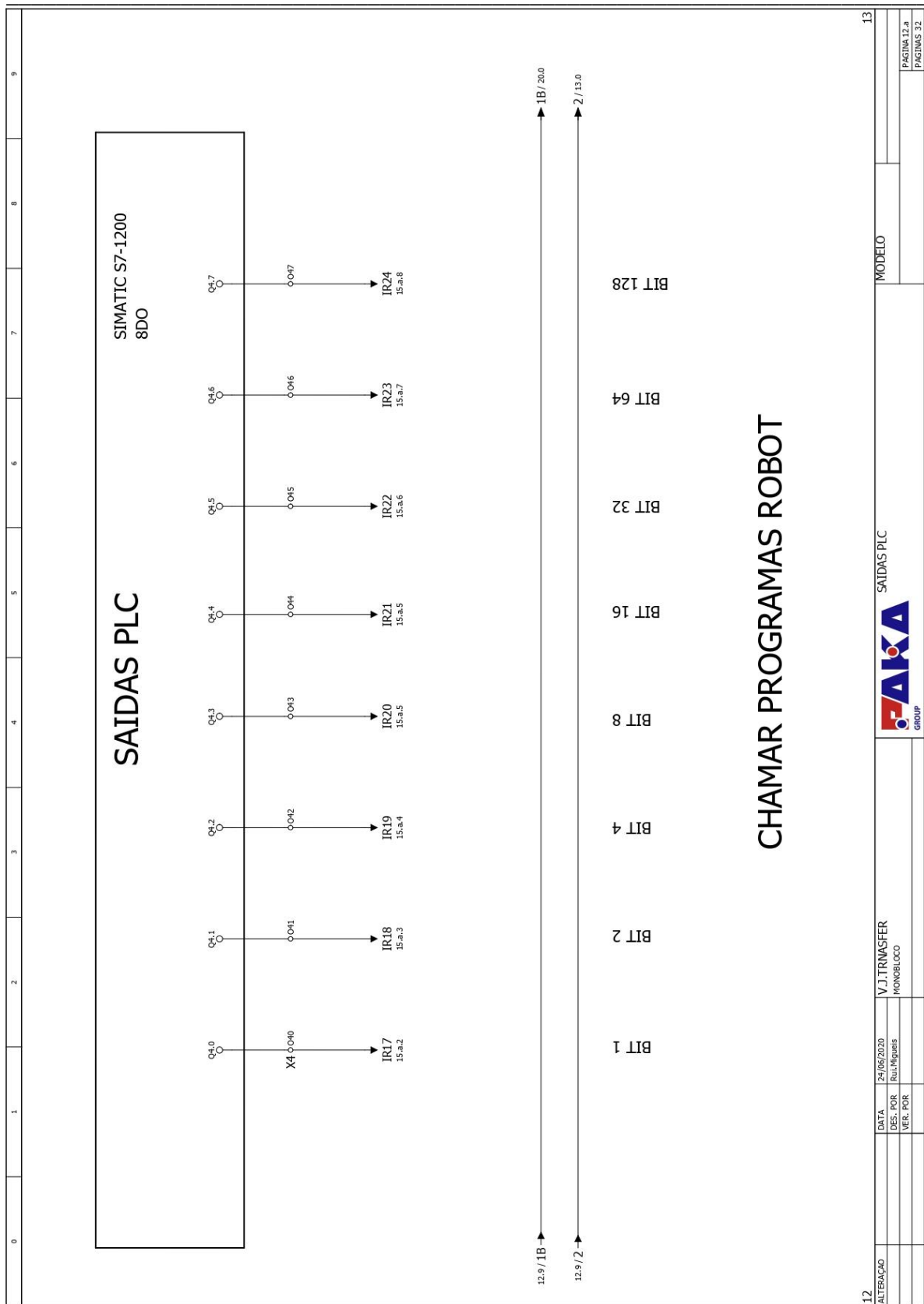






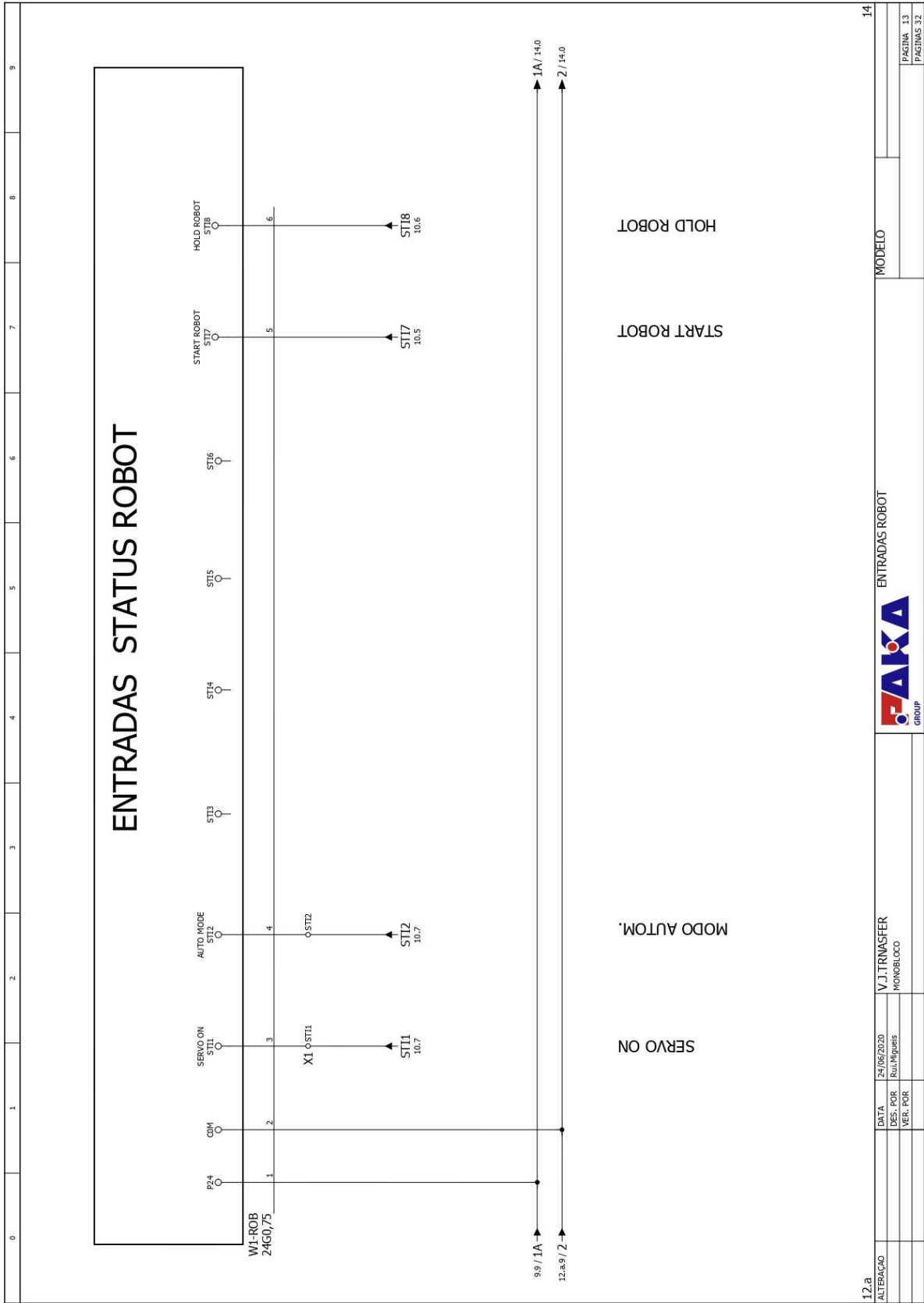
ALTERAÇÃO	DATA	DES. POR	VER. POR	24/06/2020	V.J. TRINASFER	MONIBLOCCO	SAIDAS PLC	MODELO	12
									PAGINA 11
									PAGINAS 32



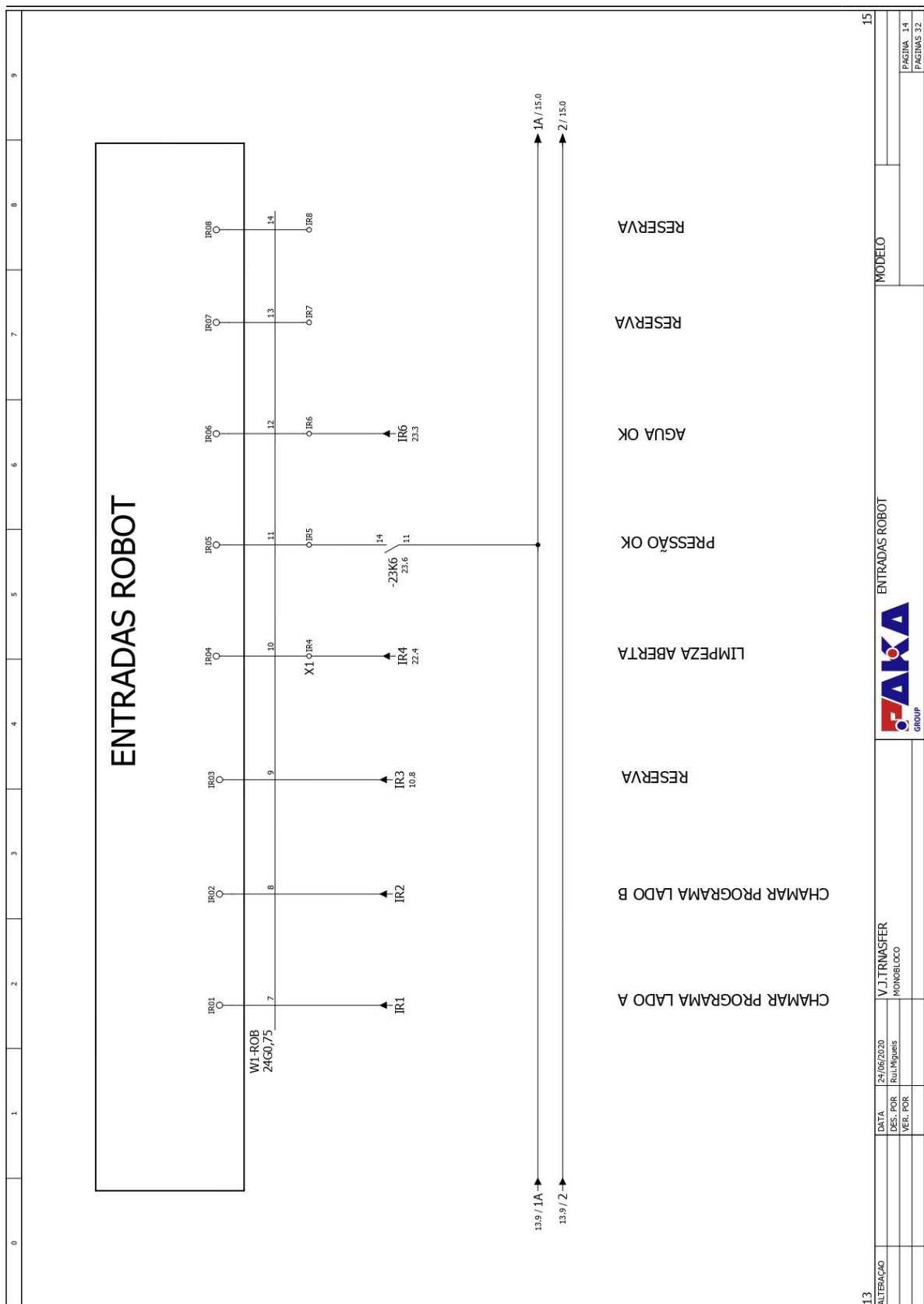


## CHAMAR PROGRAMAS ROBOT

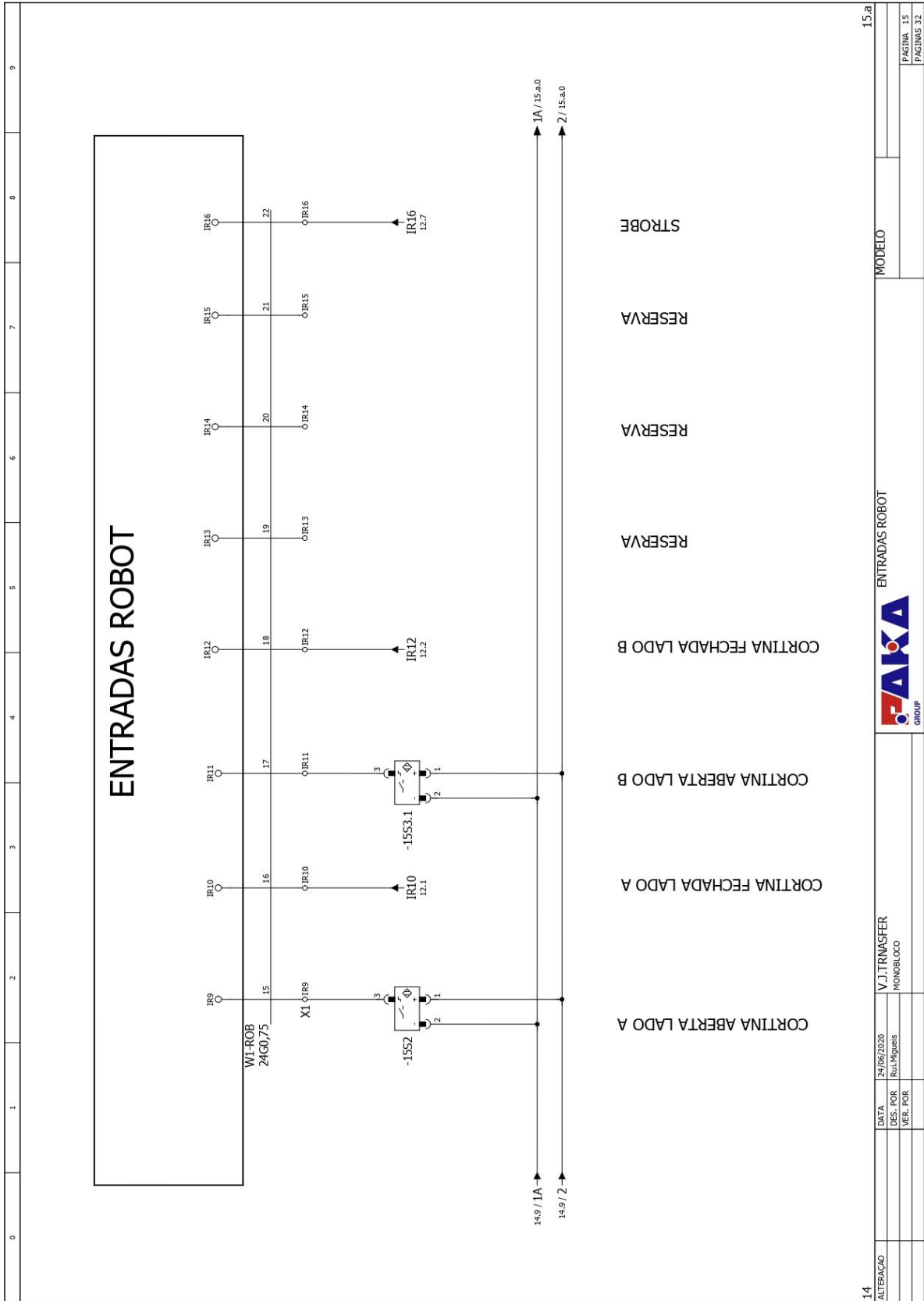
12		13	
ALTERACAO	DATA	DES. POR	VER. POR
	24/06/2020	V.J. TRINAFER	
	Rui Pigeiros	MONOLOCO	
		SAIDAS PLC	
			
		MODELO	
		PAGINA 13.a PAGINAS 32	



12.a	14
ALTERAÇÃO	MODELO
DATA DES. POR VER. POR	ENTRADAS ROBOT
24/06/2020 Rui Nogueira	
V.J. TRAMFASER MONOBLOCO	
	PAGINA 13
	PAGINAS 32

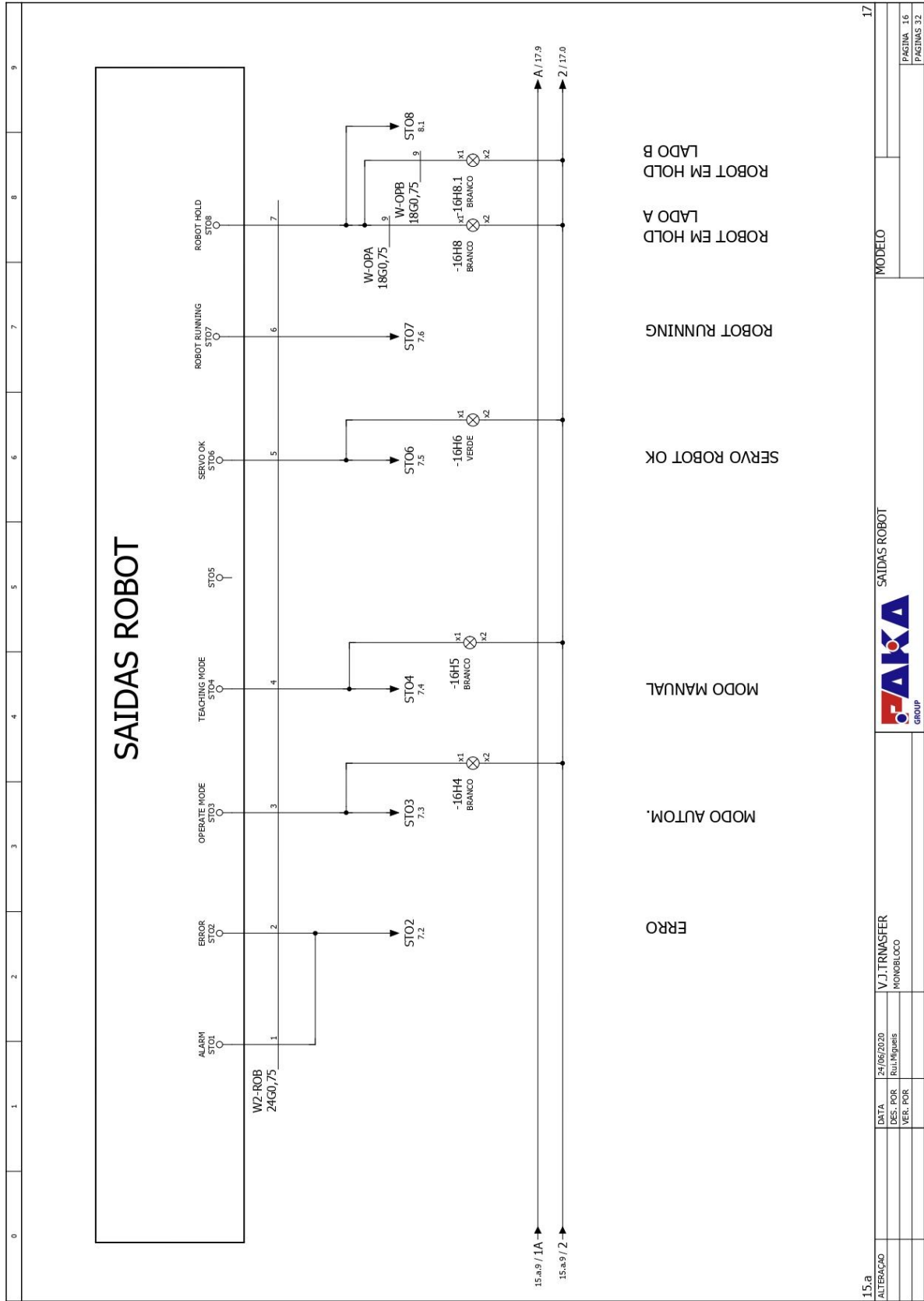


0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
13	ALTERACAO		DATA: 24/06/2020 DES. POR: Rui Pigeiros VER. POR:		V.J. TRINAFER MONOLOCO		ENTRADAS ROBOT		
						MODELO			
								PAGINA 14 PAGINAS 32	

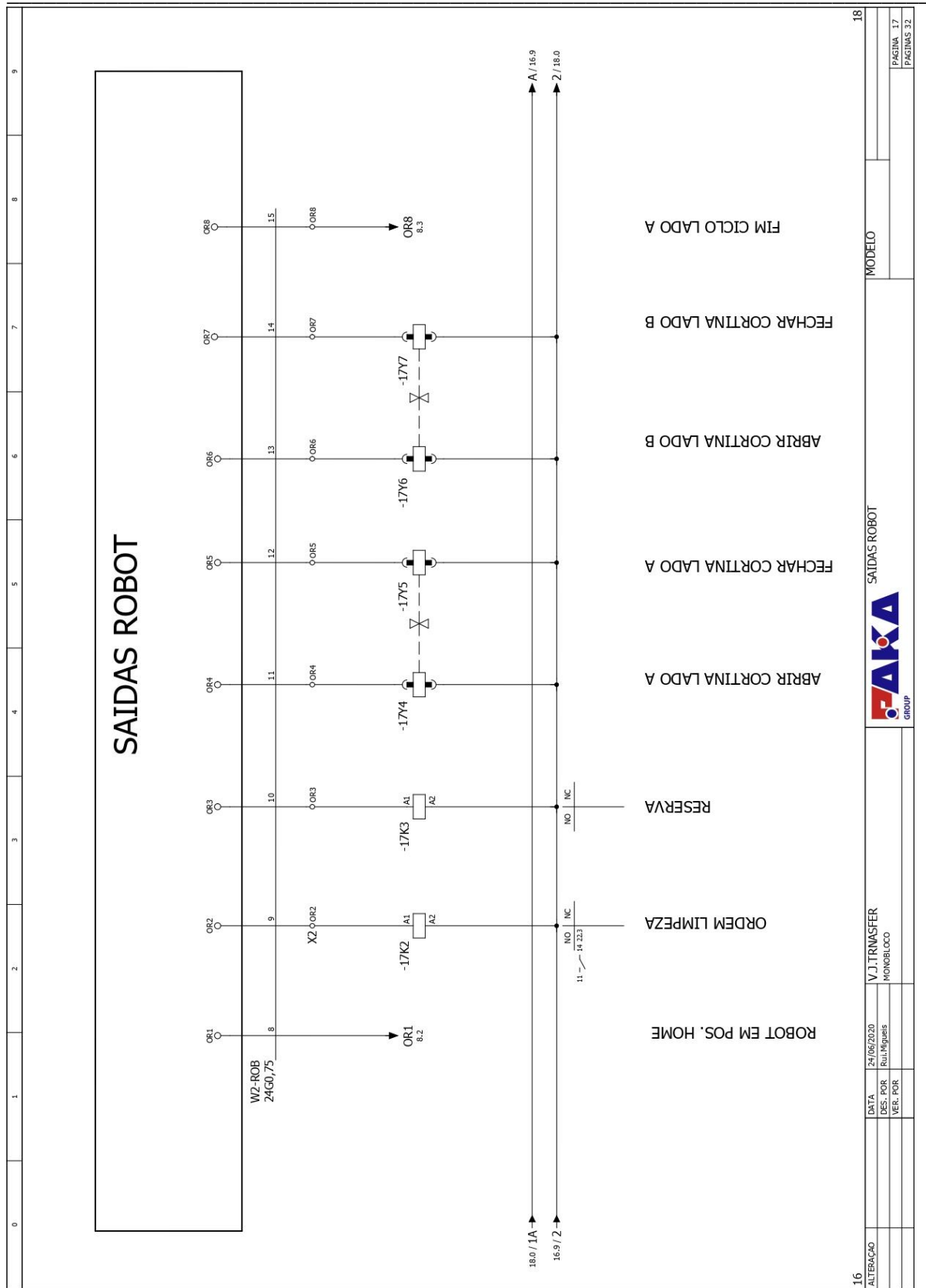


14	ALTERAÇÃO	DATA DES. POR VER. POR	21/06/2020 Rui Nogueira	V.J. TRAMASFER MONOBLOCO	ENTRADAS ROBOT	MODELO	15.a
							PAGINA 15 PAGINAS 32



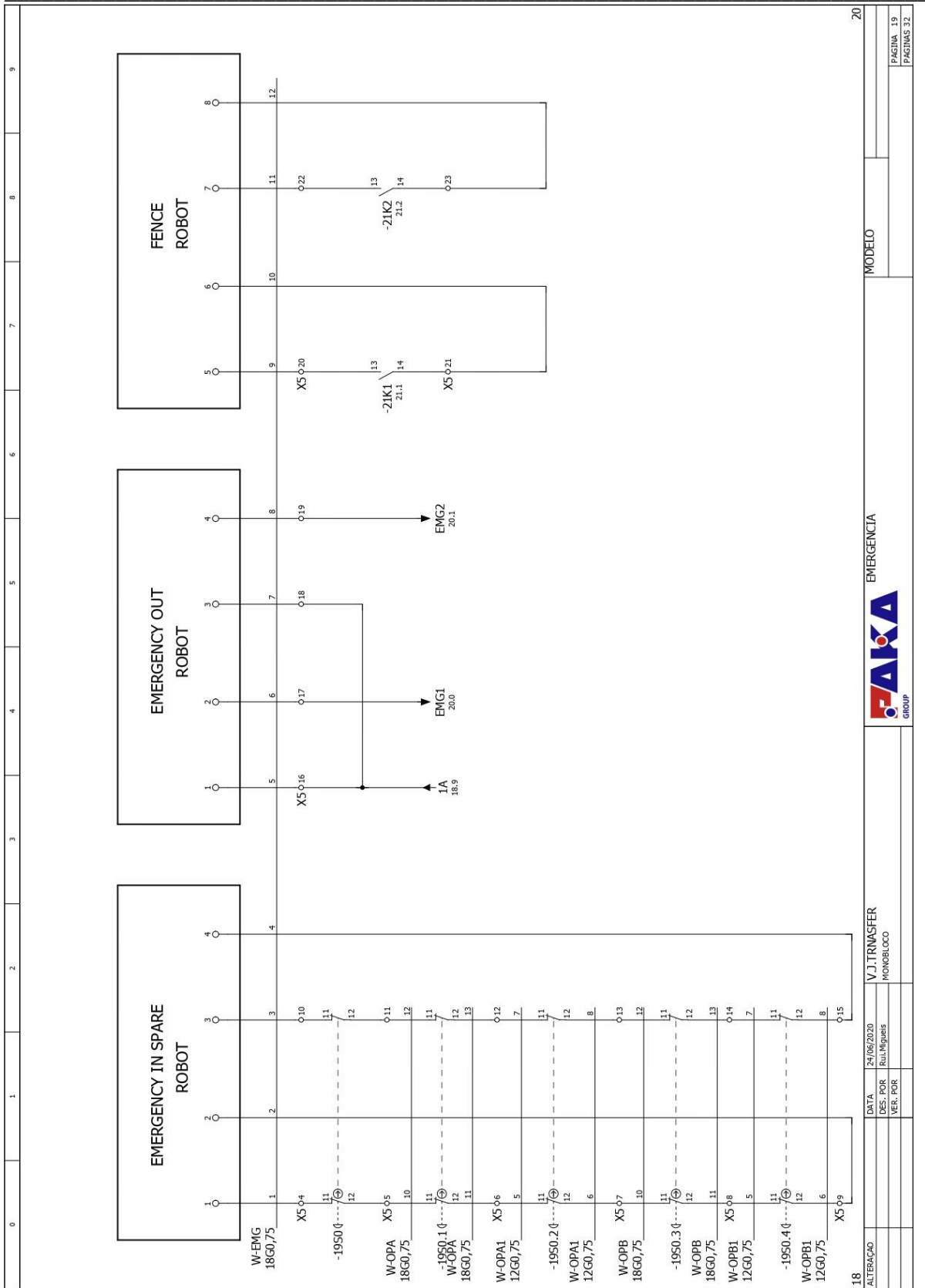


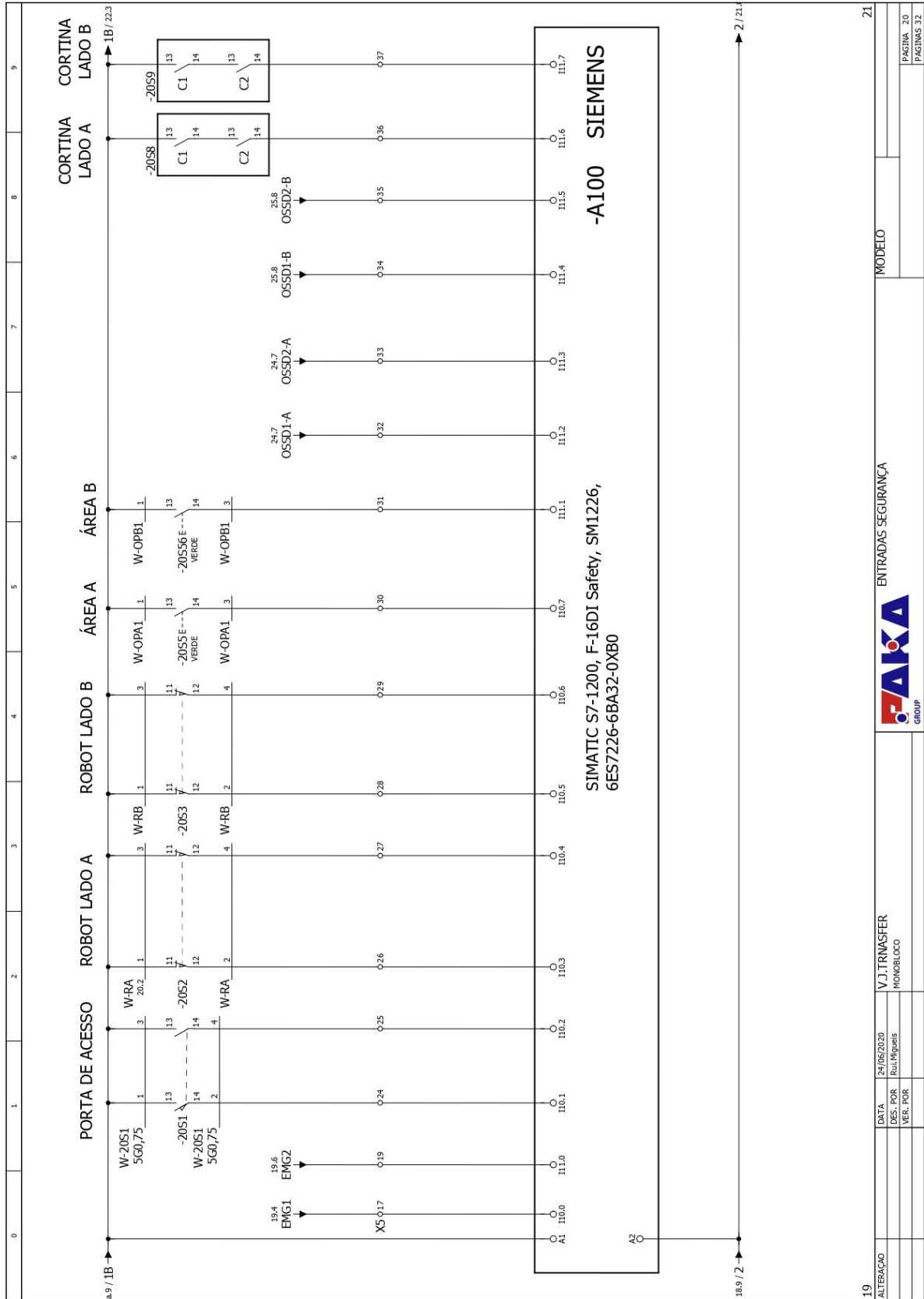
15.a	ALTERAÇÃO	DATA	DES. POR	VER. POR	V.J. TRAMASFER	MONOBLOCO	SAIDAS ROBOT	MODELO	17
		24/06/2020	Rui Nogueira						
									PAGINA 16
									PAGINAS 32



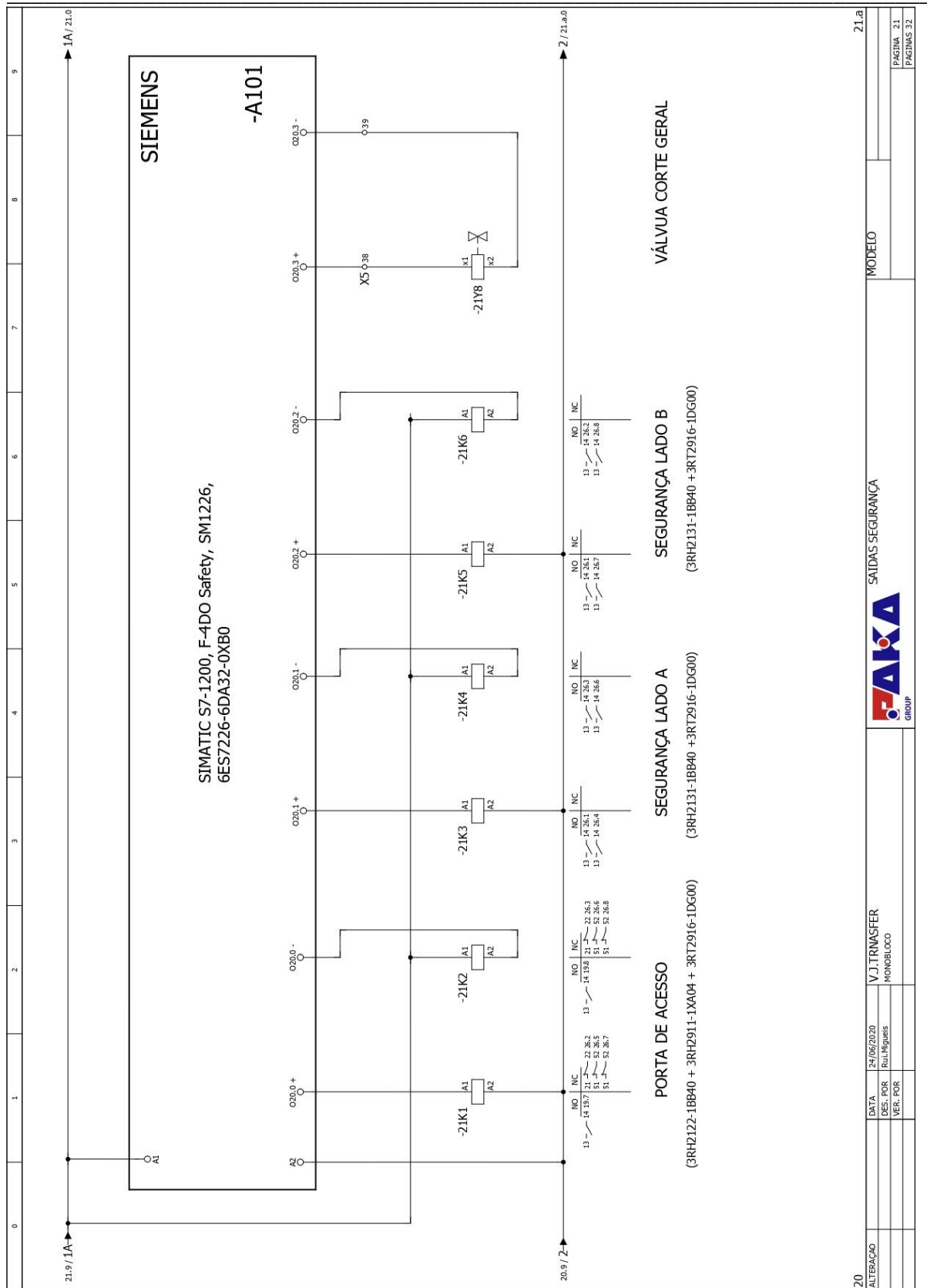
ALTERACAO	DATA	DES. POR	VER. POR	24/06/2020	Rui.Pereira	V.J. TRINSEFER	MONOLOCO	SAIDAS ROBOT	MODELO	18
										PAGINA 17
										PAGINAS 32







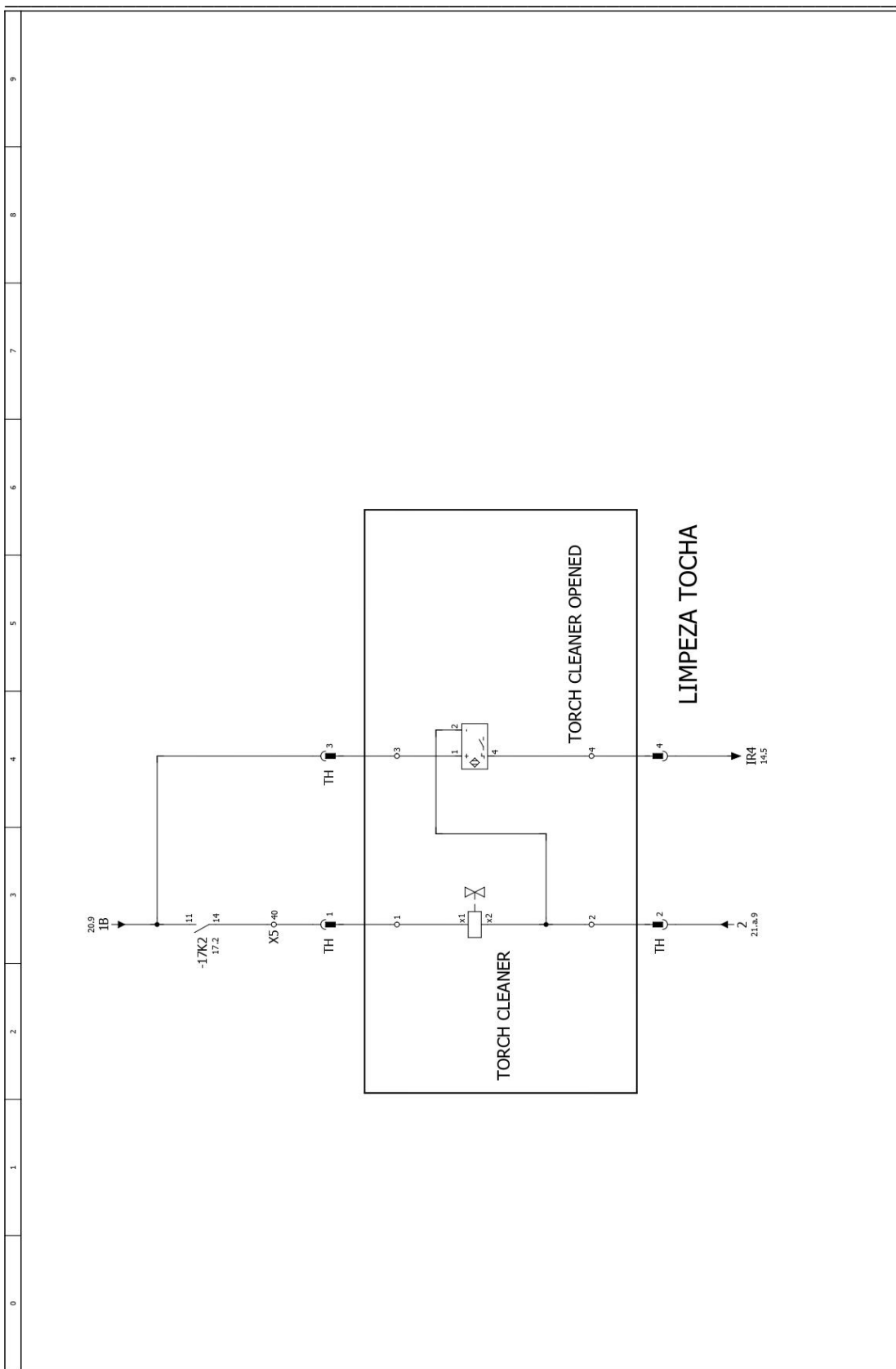
19	ALTERAÇÃO	DATA	24/06/2020	V.J. TRMASFER	ENTRADAS SEGURANÇA	MODELO	21
		DES. POR	Rui Rodrigues	MONOBLOCO			PÁGINA 20
		VER. POR					PÁGINAS 32



20	24/06/2020		V.J. TRINAFER	21.a
ALTERAÇÃO	DES. POR	REVISÃO	MONOBLOCO	MODELO
	VER. POR			PÁGINA 31
				PÁGINAS 32



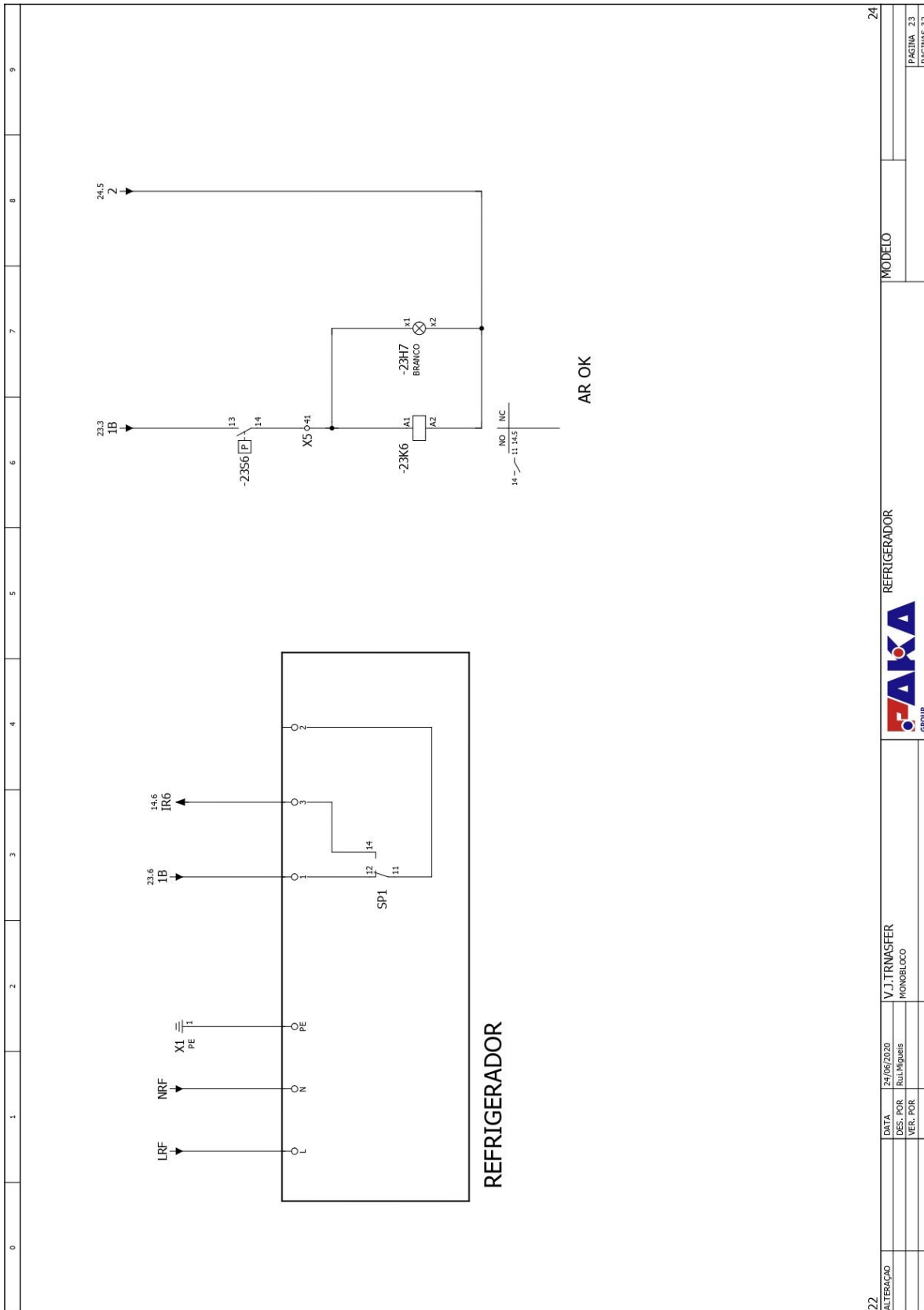




21.a

ALTERACAO	DATA	DES. POR	VER. POR	24/06/2020	V.J. TRINAFER	MONIBLOCO	MODELO	23
				Rui Pigeiros				PAGINA 32
								PAGINAS 32





22

ALTERAÇÃO	DATA	21/06/2020
	DES. POR	Rui Rodrigues
	VER. POR	

V.J. TRINASFER  
MONOBLOCO

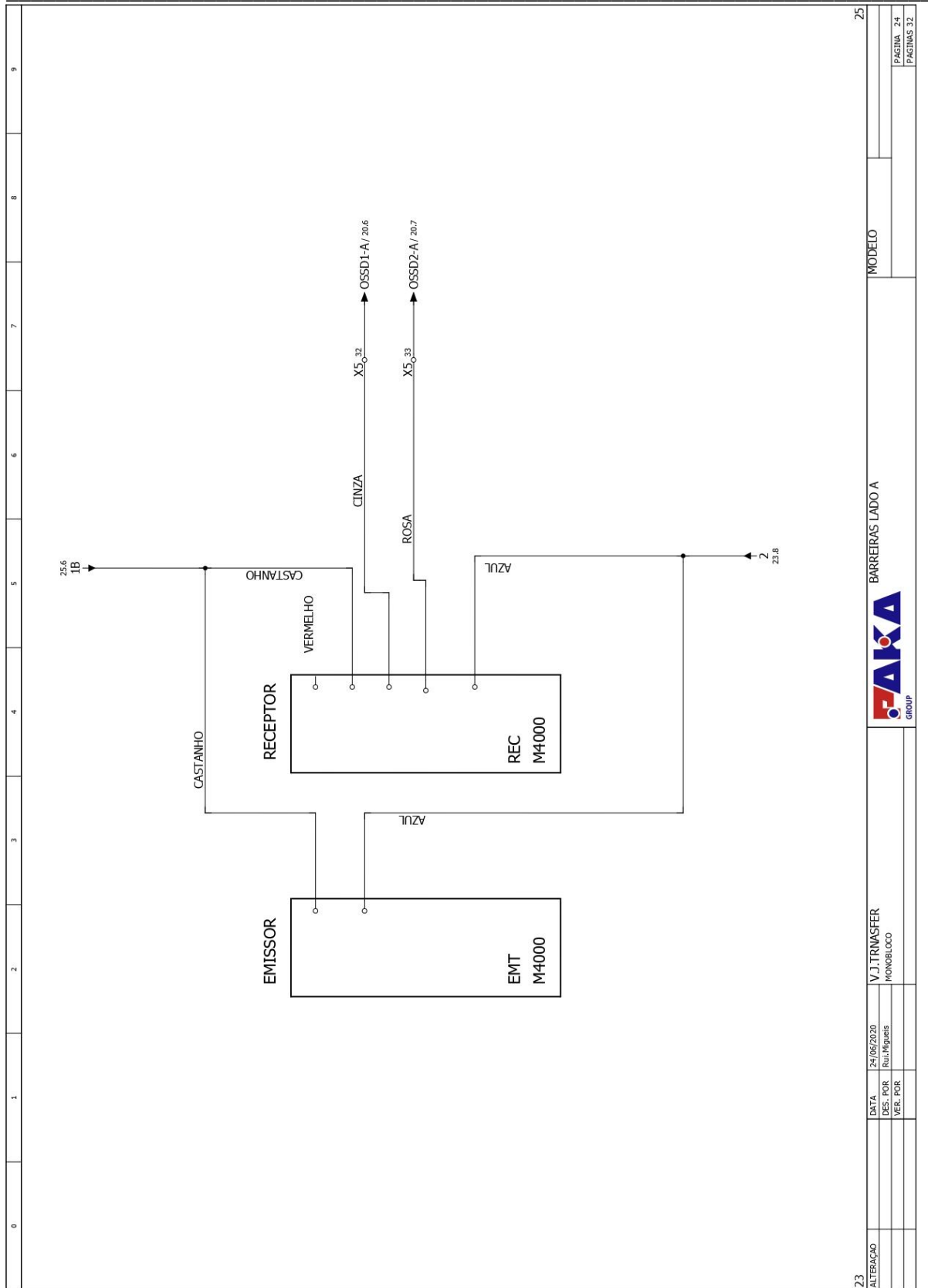
REFRIGERADOR



MODELO

24

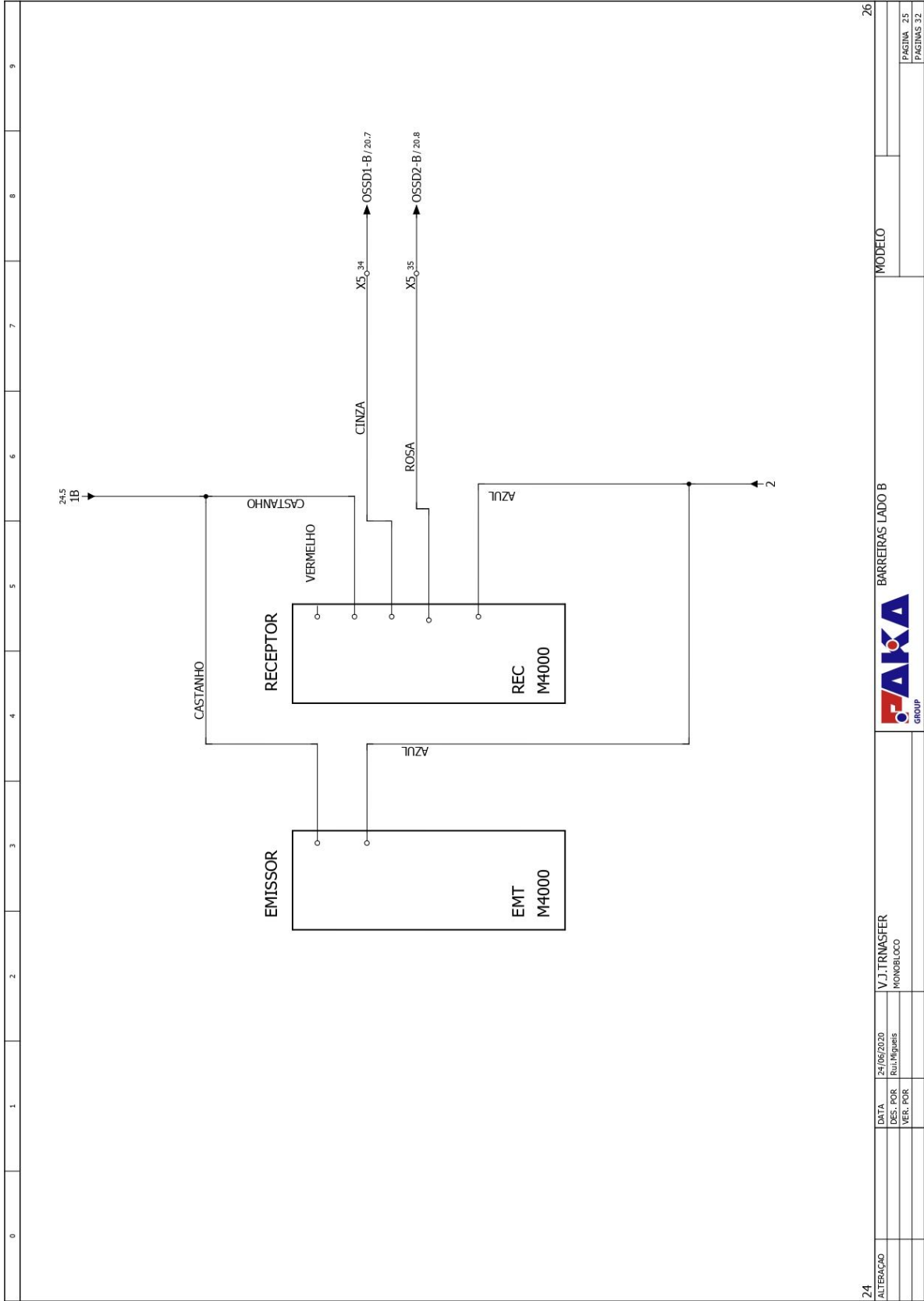
PAGINA	23
PAGINAS	32



23

25

ALTERACAO	DATA	DES. POR	VER. POR	V.J. TRINAFER	MONIBLOCO		BARREIRAS LADO A MODELO
	24/06/2020	Rui Pigeiros					
							PAGINA 34 PAGINAS 32



24

ALTERAÇÃO	DATA	DES. POR	VER. POR
	21/06/2020	Rui Rodrigues	

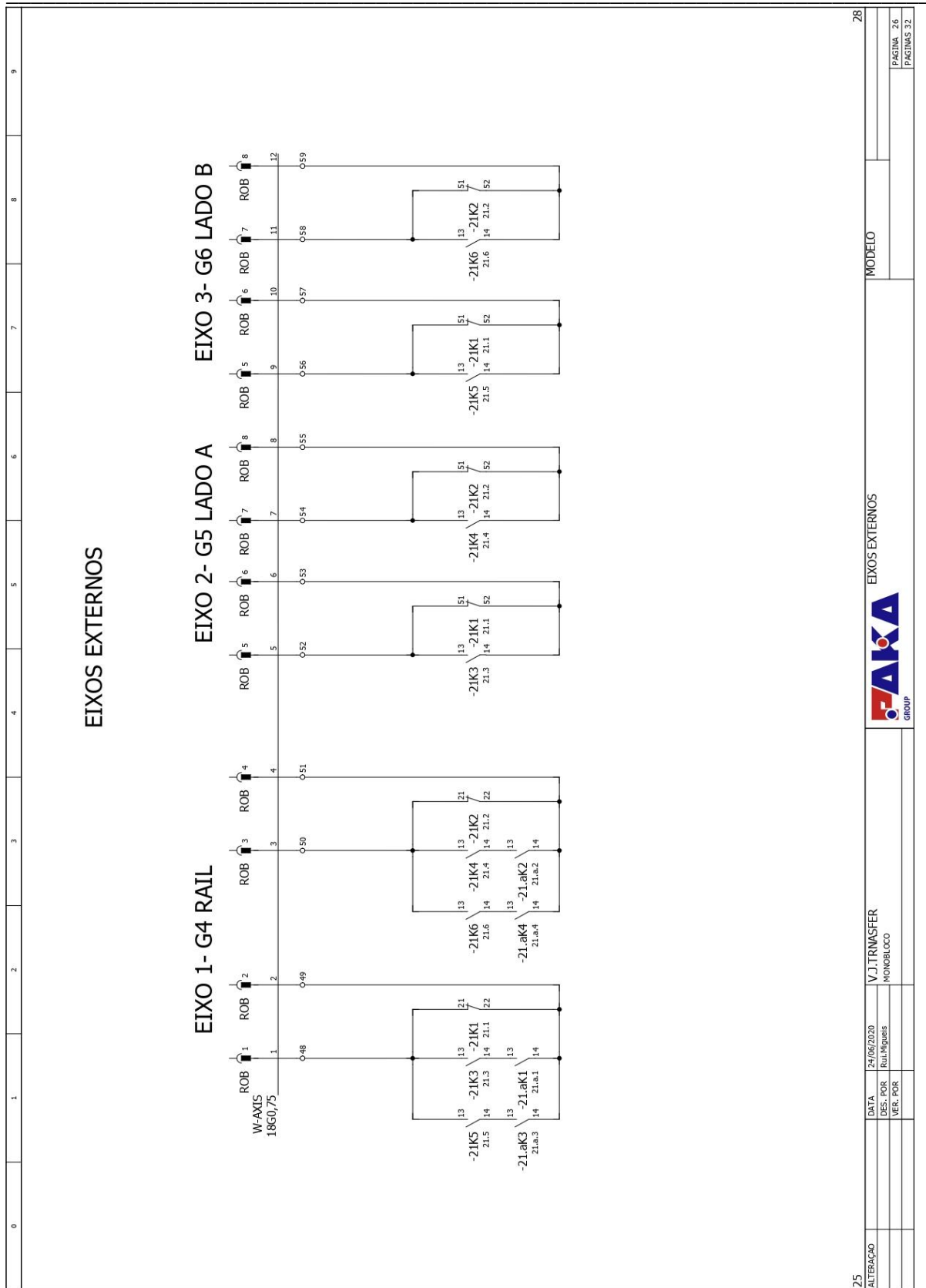
V.J. TRINASFER  
MONOBLOCO

BARRERAS LADO B



MODELO

26  
PÁGINA 25  
FASCÍCULO 32



25

ALTERACAO	DATA	DES. POR	VER. POR
	24/06/2020	Rui.Pereira	

V.J. TRINAFER  
MONOLOCO






EIXOS EXTERNOS


MODELO

28

PAGINA	36
PAGINAS	32



0	1	2	3	4	5	6	7	8	9																								
<p><b>OPERATOR PAINEL INSIDE</b></p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; text-align: center;"> <p>1</p> <p>12</p> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; text-align: center;"> <p>2</p> <p>13</p> </div> </div>																																	
<table border="1"> <thead> <tr> <th>POS.No</th> <th>POSITION</th> <th>FUNTION</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>-19S0.2 (PAG.19)</td> <td>EMERGENCY STOP</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>-20S5 (PAG.20) + -11H5 (PAG.11)</td> <td>AREA CLEAR</td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td>12</td> <td>PLASTIC BOX</td> <td> </td> </tr> <tr> <td>13</td> <td>PALSTIC BOX</td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </tbody> </table>										POS.No	POSITION	FUNTION	1	-19S0.2 (PAG.19)	EMERGENCY STOP	2	-20S5 (PAG.20) + -11H5 (PAG.11)	AREA CLEAR							12	PLASTIC BOX		13	PALSTIC BOX				
POS.No	POSITION	FUNTION																															
1	-19S0.2 (PAG.19)	EMERGENCY STOP																															
2	-20S5 (PAG.20) + -11H5 (PAG.11)	AREA CLEAR																															
12	PLASTIC BOX																																
13	PALSTIC BOX																																
<p>28</p> <table border="1"> <tr> <td>ALTERACAO</td> <td>DATA</td> <td>DES. POR</td> <td>VER. POR</td> <td>V.J. TRINASFER</td> <td>MONOLOCO</td> <td rowspan="2">  </td> <td rowspan="2">                 PAINEL OPERADOR LADO A DENTRO             </td> <td rowspan="2">                 MODELO             </td> <td>30</td> </tr> <tr> <td></td> <td>24/06/2020</td> <td>Rui Pigeiros</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>PAGINA 19</td> <td>PAGINAS 32</td> </tr> </table>										ALTERACAO	DATA	DES. POR	VER. POR	V.J. TRINASFER	MONOLOCO		PAINEL OPERADOR LADO A DENTRO	MODELO	30		24/06/2020	Rui Pigeiros				PAGINA 19	PAGINAS 32						
ALTERACAO	DATA	DES. POR	VER. POR	V.J. TRINASFER	MONOLOCO		PAINEL OPERADOR LADO A DENTRO	MODELO	30																								
	24/06/2020	Rui Pigeiros							PAGINA 19	PAGINAS 32																							

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9																																																															
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; text-align: center;"> <p>1</p> <p>12</p> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; text-align: center;"> <p>2</p> <p>3</p> <p>4</p> <p>5</p> <p>6</p> <p>13</p> </div> </div>																																																																								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>POS.Nº</th> <th>COMPONENTS (PAG.)</th> <th>FUNCTION</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>-19S0.3 (PAG.19)</td> <td>EMERGENCY BUTTION</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>-10H3 (PAG.10)</td> <td>SYSTEM READY</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>-6S5 (PAG.6) + -16H8.1 (PAG.16)</td> <td>HOLD ROBOT BUTTION + LAMP</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>-6S6 (PAG.6) + -11H7 (PAG.11)</td> <td>RESET LIGHT BARRIERS BUTTION + LAMP</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>-6S4 (PAG.6) + -10H2.1 (PAG.10)</td> <td>SYSTEM START BUTTION + LAMP</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>8</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>9</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>10</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>11</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>12</td> <td>PLÁSTIC BOX REF.XALK01</td> <td></td> </tr> <tr> <td>13</td> <td>PLÁSTC BOX REF.XALD05</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>										POS.Nº	COMPONENTS (PAG.)	FUNCTION	1	-19S0.3 (PAG.19)	EMERGENCY BUTTION	2	-10H3 (PAG.10)	SYSTEM READY	3			4	-6S5 (PAG.6) + -16H8.1 (PAG.16)	HOLD ROBOT BUTTION + LAMP	5	-6S6 (PAG.6) + -11H7 (PAG.11)	RESET LIGHT BARRIERS BUTTION + LAMP	6	-6S4 (PAG.6) + -10H2.1 (PAG.10)	SYSTEM START BUTTION + LAMP	7			8			9			10			11			12	PLÁSTIC BOX REF.XALK01		13	PLÁSTC BOX REF.XALD05																						
POS.Nº	COMPONENTS (PAG.)	FUNCTION																																																																						
1	-19S0.3 (PAG.19)	EMERGENCY BUTTION																																																																						
2	-10H3 (PAG.10)	SYSTEM READY																																																																						
3																																																																								
4	-6S5 (PAG.6) + -16H8.1 (PAG.16)	HOLD ROBOT BUTTION + LAMP																																																																						
5	-6S6 (PAG.6) + -11H7 (PAG.11)	RESET LIGHT BARRIERS BUTTION + LAMP																																																																						
6	-6S4 (PAG.6) + -10H2.1 (PAG.10)	SYSTEM START BUTTION + LAMP																																																																						
7																																																																								
8																																																																								
9																																																																								
10																																																																								
11																																																																								
12	PLÁSTIC BOX REF.XALK01																																																																							
13	PLÁSTC BOX REF.XALD05																																																																							
<p>29</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>ALTERAÇÃO</td> <td>DATA</td> <td>DES. POR</td> <td>VER. POR</td> </tr> <tr> <td></td> <td>21/06/2020</td> <td>V.J. TRMASFER</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>MONOBLOCO</td> <td></td> </tr> </table>										ALTERAÇÃO	DATA	DES. POR	VER. POR		21/06/2020	V.J. TRMASFER				MONOBLOCO																																																				
ALTERAÇÃO	DATA	DES. POR	VER. POR																																																																					
	21/06/2020	V.J. TRMASFER																																																																						
		MONOBLOCO																																																																						
<p>31</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>MODELO</td> <td>PAINEL OPERADOR LADO B</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> </tr> </table>										MODELO	PAINEL OPERADOR LADO B																																																													
MODELO	PAINEL OPERADOR LADO B																																																																							
																																																																								
<p>PAGINA 30</p> <p>PAGINAS 32</p>																																																																								

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9																								
<b>OPERATOR PAINEL INSIDE</b>																																	
					<table border="1"> <thead> <tr> <th>POS.No</th> <th>POSITION</th> <th>FUNTION</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><b>1</b></td> <td>-19S0.4 (PAG.19)</td> <td>EMERGENCY STOP</td> </tr> <tr> <td><b>2</b></td> <td>-20S6 (PAG.20) + -11H6 (PAG.11)</td> <td>AREA CLEAR</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td><b>12</b></td> <td>PLASTIC BOX</td> <td></td> </tr> <tr> <td><b>13</b></td> <td>PALSTIC BOX</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>					POS.No	POSITION	FUNTION	<b>1</b>	-19S0.4 (PAG.19)	EMERGENCY STOP	<b>2</b>	-20S6 (PAG.20) + -11H6 (PAG.11)	AREA CLEAR							<b>12</b>	PLASTIC BOX		<b>13</b>	PALSTIC BOX				
POS.No	POSITION	FUNTION																															
<b>1</b>	-19S0.4 (PAG.19)	EMERGENCY STOP																															
<b>2</b>	-20S6 (PAG.20) + -11H6 (PAG.11)	AREA CLEAR																															
<b>12</b>	PLASTIC BOX																																
<b>13</b>	PALSTIC BOX																																
<table border="1"> <tr> <td>ALTERACAO</td> <td>DATA</td> <td>DES. POR</td> <td>VER. POR</td> <td>V.J. TRINASFER</td> <td>MODELO</td> <td>PAINEL OPERADOR LADO B DENTRO</td> <td>MODELO</td> <td>PAGINA</td> <td>31</td> </tr> <tr> <td></td> <td>24/06/2020</td> <td>Rui Pigeiros</td> <td></td> <td>MONOLOCO</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>PAGINAS</td> <td>32</td> </tr> </table>										ALTERACAO	DATA	DES. POR	VER. POR	V.J. TRINASFER	MODELO	PAINEL OPERADOR LADO B DENTRO	MODELO	PAGINA	31		24/06/2020	Rui Pigeiros		MONOLOCO				PAGINAS	32				
ALTERACAO	DATA	DES. POR	VER. POR	V.J. TRINASFER	MODELO	PAINEL OPERADOR LADO B DENTRO	MODELO	PAGINA	31																								
	24/06/2020	Rui Pigeiros		MONOLOCO				PAGINAS	32																								

30

## Anexo II – Algoritmo de limpeza da tocha

Este anexo pretende mostrar como foi programado o serviço de limpeza da tocha. Será descrita qual a função de cada instrução nas notas adjacentes.

Mech3 : Robot

Begin Of Program

```
0001    TOOL = 1 : TOOL01
0002    MOVEP GA ( 1: GA001) , 10.00m/min,
0003    WAIT_IP I1#( 11:Brennerreinig offen) ON T=0.00 s NOP
0004    DELAY 0.50 s
0005    MOVEP P003 , 30.00m/min,
0006    MOVEP P002 , 3.00m/min,
0007    DELAY 0.01 s
0008    OUT O1# ( 13: Brennerreinigung) = ON
0009    DELAY 1.00 s
00010   WAIT_IP I1#( 11:Brennerreinig offen) OFF T=0.00 s NOP
00011   DELAY 2.00 s
00012   OUT O1# ( 13: Brennerreinigung) = OFF
00013   WAIT_IP I1#( 11:Brennerreinig offen) ON T=0.00 s NOP
00014   DELAY 1.00 s
00015   MOVEP P002 , 3.00m/min,
00016   MOVEP P003 , 30.00m/min,
00017   MOVEP GA ( 1: GA001) , 10.00m/min,
00018   CLEAR GB( 1:GB0001)
```

End Of Program

Notas:

- 0001- É selecionada a ferramenta a trabalhar, neste caso, existe apenas a tocha.
- 0002- Instrução de movimento para um ponto no espaço definido previamente na variável GA001. Esta variável representa especificamente a posição Home do manipulador.
- 0003- Aguarda que o sinal de entrada 11 do manipulador seja 1, significando que o sistema de limpeza está pronto a receber a tocha.
- 0004- Aguarda 0.5s.
- 0005- Instrução de movimento linear para o ponto P003 definido a uma velocidade de 30m/min, executa a aproximação do sistema de limpeza
- 0006- Instrução de movimento linear para o ponto P002 definido a uma velocidade de 3m/min. representa um pequeno movimento de ajuste de forma a alinhar a tocha com o sistema de limpeza
- 0007- Aguarda 0.01s.
- 0008- Ativa a saída 13 do manipulador, iniciando assim o processo de limpeza.
- 0009- Aguarda 1s.

- 00010- Aguarda que o sistema de limpeza esteja em funcionamento.
- 00011- Aguarda 2s os estados atuais para que execute a limpeza da tocha
- 00012- Desativa a saída 13 do manipulador, terminando assim o processo de limpeza.
- 00013- Aguarda que o sinal de entrada 11 do manipulador seja 1, significando que o sistema de limpeza está novamente na posição inicial.
- 00014- Aguarda 1s.
- 00015- Instrução de movimento linear para o ponto P002 definido a uma velocidade de 3m/min, executa o afastamento do alinhamento no sistema de limpeza a uma velocidade reduzida.
- 00016- Instrução de movimento linear para o ponto P003 definido a uma velocidade de 30m/min, executa um afastamento do sistema de limpeza.
- 00017- Instrução de movimento para um ponto no espaço definido previamente na variável GA001.
- 00018- Define a variável GB0001 como 0. GB0001 é o contador de ciclos do manipulador. Ao definir como 0 inicia assim uma nova contagem no ciclo seguinte de modo a que a tocha seja limpa após verificar a igualdade da variável GB0001 com o valor pretendido.