

Sistema Para Teste e Paletização de Uma Peça Para a Indústria Automóvel

CLÁUDIO FERNANDO BARBOSA DE SOUSA

novembro de 2019

Sistema Para Teste e Paletização de Uma Peça Para a Indústria Automóvel

**Cláudio Fernando Barbosa de
Sousa**



Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Área de Especialização de Automação e Sistemas

Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Instituto Superior de Engenharia do Porto

2019

Este relatório satisfaz, parcialmente, os requisitos que constam da Ficha de Unidade Curricular de Tese/Dissertação, do 2º ano, do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Candidato: Cláudio Fernando Barbosa de Sousa, N° 1110816, 1110816@isep.ipp.pt
Orientação científica: Ramiro de Sousa Barbosa , RSB@isep.ipp.pt
Empresa: WRK, Lda
Supervisão: André Filipe Monteiro Aguiar, andre.aguiar@wrk.pt



Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Área de Especialização de Automação e Sistemas

Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Instituto Superior de Engenharia do Porto

2019

Agradecimentos

Em primeiro lugar, quero deixar um agradecimento especial aos meus pais, Fernando Sousa e Celeste Sousa, por acreditarem e nunca desistirem de mim, pelo incentivo a terminar o curso em detrimento da entrada precoce no mercado de trabalho, pela paciência, pelo suor gasto para suportar os estudos assim como por me moldarem na forma que sou hoje.

Um agradecimento também a toda a empresa WRK, Lda, que me acolheu, depositou confiança em mim e me amparou nos primeiros momentos no mundo da automação industrial. Começando pelo Sr. Carlos Lopes que se mostrou desde início disponível para me ajudar e permitiu que eu participasse neste projecto.

Foi possível ainda encontrar excelentes profissionais que me ajudaram, acompanharam e contribuíram para que este projecto fosse possível, nomeadamente os colegas Nuno Mota, Licínio Mota e João Martins. Um obrigado por até hoje partilharem a sua sabedoria.

Estando inserido numa equipa de automação, não poderia deixar em vão o restante grupo, ficando grato com os colegas Hiago Novais, Joel Coutinho, Rúben Alves e André Aguiar.

Tenho a agradecer ao Engenheiro Ramiro Barbosa por ter feito a orientação desta dissertação e ao longo de todo o seu desenvolvimento ter estado sempre presente e disponível para ajudar.

Um imenso obrigado ao colega de estudo, colega de trabalho e acima de tudo amigo Carlos Couto, por estar a meu lado nesta fase, pela partilha de ideias, pela ajuda incessante e pelo companheirismo.

Não poderia deixar de agradecer também aos meus colegas de instituição, que ao longo do tempo se demonstraram mais que isso transformando-se em amigos e que comigo percorreram esta jornada. O apoio por parte deles foi incondicional.

Por fim um agradecimento aos professores que se cruzaram ao longo dos anos comigo e que contribuíram para que chegasse a este ponto.

Cláudio Sousa

Resumo

Com o intuito de se conseguir fazer diversos testes a um elevado número de peças plásticas acabadas de sair de um molde de injeção, foi solicitado à empresa WRK, Lda uma solução capaz de dar resposta aos testes exigidos e que consiga acompanhar o tempo de ciclo pretendido.

Foi desenvolvida então uma solução automatizada capaz de fazer o transporte de peças de um *buffer* de recepção, fazer testes de propriedades dimensionais da peça com recurso a visão artificial, fazer testes eléctricos de isolamento e continuidade e ainda a paletização da peça em caixas.

Para poder fazer o transporte e paletização das peças foram utilizados dois robôs de arquitectura SCARA da marca Epson, sendo que um irá fazer o transporte de peças do *buffer* de recepção para um prato rotativo, que por sua vez irá fazer a passagem das peças pelos diferentes testes.

Para retirar as peças do prato irá um segundo robô SCARA pegar nestas e fazer a sua paletização em caixas de 100 peças, com camadas de 20 peças. Este robô irá ainda fazer alternância entre ferramentas, sendo uma garra para transporte das peças e uma ferramenta para poder fazer a colocação de um separador plástico entre camadas.

No final, obteve-se um sistema autónomo, com um tempo de ciclo na ordem dos quarenta segundos, em que a velocidade foi um dos factores principais do uso de robôs para a manipulação dos materiais.

No presente documento serão descritos os desenvolvimentos feitos ao nível de programação dos dois robôs de arquitectura SCARA que irão fazer o transporte e paletização de peças na célula. Vão ser também mostradas as decisões tomadas ao decorrer do projecto e ainda a programação da segurança da célula envolvente onde estão incorporados os robôs, com recurso a barreiras de segurança, fechos de segurança e outros equipamentos associados.

Palavras-Chave: Automação, Barreiras, Fechos, Paletização, Robô, SCARA, Segurança, Transporte.

Abstract

In order to be able to perform multiple tests at a high number of plastic parts that arrived from an injection mold, the company WRK, Lda was asked for a solution that could attend the required tests and be able to follow up the desired cycle time.

An automated solution was then developed capable of transporting parts from a receiving buffer, testing dimensional properties of the part using artificial vision, electrical testing for insulation and continuity, and palletizing the part into boxes.

In order to transport and palletize the parts, two Epson SCARA robots were used, one of which will transport parts from the receiving buffer to a rotary table, which will make the parts pass through the different tests.

To remove the pieces from the plate, a second SCARA robot will pick them up and palletize them into 100-piece boxes with layers of 20 pieces. This robot will also alternate between tools, using a claw to transport the parts and a tool to place a plastic separator between layers.

In the end, an autonomous system with a cycle time of about forty seconds was obtained, where speed was one of the main factors for the use of robots for material handling.

This document describes the programming developments of the two SCARA architecture robots that will transport and palletize parts in the cell. It will also show the decisions taken during the project and also the safety programming of the surrounding cell where the robots are incorporated, using safety barriers, safety locks and other associated equipment.

Keywords: Automation, Barriers, Locks, Palletization, Robot, SCARA, Safety, Transport.

Conteúdo

Agradecimentos	iii
Conteúdo	ix
Lista de Figuras	xi
Lista de Tabelas	xiii
Acrónimos	xv
1 Introdução	1
1.1 Contextualização	1
1.2 Objectivos	2
1.3 A empresa	3
1.4 Calendarização	5
1.5 Organização	7
2 Revisão Bibliográfica	9
2.1 Automação Industrial	9
2.2 Robôs	10
2.2.1 Arquitecturas de Robôs	12
2.2.2 Robôs SCARA	15
2.3 Paletizadoras Convencionais	20
3 Arquitectura do Sistema	25
3.1 Requisitos do Sistema	26
3.2 Arquitectura do Sistema	29
3.3 Descrição Generalizada da Arquitectura do Sistema	31
3.3.1 Epson SCARA	31
3.3.2 Seguranças	36
3.3.3 PLC	38
3.3.4 Outros Equipamentos	39
3.4 A Solução Desenvolvida	39

3.4.1	Resultado Final	39
4	Robôs	43
4.1	Ferramentas	43
4.2	Movimentos	49
4.3	Procedimentos Gerais	51
4.4	Robô Epson SCARA LS6	60
4.5	Robô Epson SCARA G6	63
5	Programação	71
5.1	Epson SCARA LS6	71
5.1.1	Modo Manual	71
5.1.2	Rearme	73
5.1.3	Ciclo Automático	76
5.2	Epson SCARA G6	80
5.2.1	Modo Manual	80
5.2.2	Função de Rearme	82
5.2.3	Ciclo de Funcionamento	85
5.2.3.1	Colocação de separador	86
5.2.3.2	Paletização	89
5.2.3.3	Ciclo de controlo	91
5.2.3.4	Ciclo Automático	93
6	Segurança	95
6.1	Equipamentos de Segurança	95
6.2	Tratamento de Sinal	97
7	Conclusão e Desenvolvimentos Futuros	101
	Bibliografia	105
A	Vista de Cima da Máquina	109
B	Listagem de Robôs Por Marca	113
C	Fluxograma do Ciclo Automático do Robô Epson SCARA G6	117

Lista de Figuras

1.1	Logótipo da empresa WRK, Lda [1]	3
1.2	Organograma da constituição da empresa WRK, Lda	4
2.1	Comparação entre repetibilidade e precisão [2]	11
2.2	Diferentes arquitecturas de robôs [3][4][5][6]	12
2.3	À esquerda um robô cartesiano do tipo <i>Gantry</i> face a um robô normal cartesiano à direita [7][8]	13
2.4	Associação do robô SCARA ao braço humano [9]	16
2.5	À esquerda, um Epson SCARA LS10-B802C e à direita, um SCARA RS3 [10][11]	18
2.6	Interpretação da referência de um robô Epson <i>Selective Compliance Assembly Robot Arm</i> (SCARA)	19
2.7	Interface do <i>software</i> Epson RC+, onde é possível entre outros, movi- mentar o robô e verificar no simulador o movimento	20
2.8	Paletizadora convencional de alto nível [12]	21
3.1	Esboço da planta da célula	27
3.2	Representação de uma caixa com peças	28
3.3	Arquitectura do sistema descrito	30
3.4	Robô Epson SCARA LS6 e descrição das suas juntas [13]	32
3.5	Controlador Epson RC90 para uso conjunto com o Epson LS6 [14]	33
3.6	Robô Epson SCARA G6 e descrição das suas juntas [15]	34
3.7	Controlador Epson RC700-A para uso conjunto com o Epson G6 [16]	35
3.8	Barreiras de segurança	36
3.9	PLC de segurança Omron G9SP [17]	37
3.10	PLC Omron CJ2M [18]	38
3.11	Vista de cima da máquina projectada pela WRK	40
3.12	Vista pormenorizada do <i>buffer</i> de entrada	40
3.13	Tapete do ciclo de controlo	42
4.1	Robô Epson LS6 a pegar peça do <i>buffer</i> de entrada	44
4.2	Representação a laranja dos ninhos de colocação de peças no prato e a azul dos ninhos onde o robô Epson SCARA G6 retirará as peças	45

4.3	Epson G6 a pegar peça do ninho esquerdo com a sua garra	45
4.4	Robô Epson G6 a efectuar a troca de ferramenta	47
4.5	Ferramenta de transporte de separadores, a fazer vácuo contra um separador	48
4.6	Comparação das duas versões das garras da ferramenta	49
4.7	Comparação de movimentos entre <i>Jump</i> e <i>Move</i> e exemplo de uso da função <i>Arch</i>	50
4.8	<i>Software</i> RC+ 7.3.3 da Epson para programação do controlador do robô	53
4.9	Página para atribuição do endereço IP ao controlador	54
4.10	Página para definição da excentricidade e inércia, no <i>software</i> Epson RC+	55
4.11	Ferramenta suplementar para calibração da ferramenta do robô LS6 .	58
4.12	Representação dos eixos considerados pelo robô em relação à sua origem	60
4.13	Definição dos pontos para a criação da <i>box</i>	61
4.14	Ponto criado à entrada da caixa OK	65
4.15	Caracterização da paletização	67
4.16	Marcação dos pontos correspondentes aos cantos da caixa	67
5.1	Fluxograma da função <i>main</i> do robô Epson SCARA LS6	72
5.2	Fluxograma do rearme do robô Epson SCARA LS6	75
5.3	<i>Buffer</i> de entrada com a numeração igual ao molde	76
5.4	Fluxograma do ciclo automático do robô LS6	77
5.5	Fluxograma generalista da retirada de peças do <i>buffer</i> para o prato rotativo	78
5.6	Fluxograma da função <i>main</i> do robô Epson SCARA G6	81
5.7	Fluxograma da função de rearme do robô Epson SCARA G6	83
5.8	Fluxograma da função de levar um separador até à caixa correspondente	87
5.9	Fluxograma da função de paletização	90
5.10	Fluxograma da função de transporte das peças para o tapete de ciclo de controlo	92
6.1	Localização das barreiras na célula	96
6.2	<i>Software G9SP Configurator</i> , utilizado para a programação do <i>Programmable Logic Controller</i> (PLC) de segurança	98

Lista de Tabelas

1.1	Calendarização do Projecto	6
3.1	Especificações do robô Epson SCARA LS6-602S	32
3.2	Especificações do robô Epson SCARA G6-653S	34

Acrónimos

CAD *Computer-Aided Design*

CNC *Computer Numerical Control*

HMI *Human-Machine Interface*

IA *Inteligência Artificial*

IP *Internet Protocol*

ISEP *Instituto Superior de Engenharia do Porto*

MIR *Mobile Industrial Robots*

PC *Personal Computer*

PLC *Programmable Logic Controller*

SCARA *Selective Compliance Assembly Robot Arm*

TCP *Transmission Control Protocol*

USB *Universal Serial Bus*

Capítulo 1

Introdução

A indústria automóvel e indústrias paralelas que trabalham para auxiliar a primeira, sempre foram das mais exigentes ao procurar soluções que cumpram o trabalho de forma automatizada. O intuito é sempre o de poder reduzir custo de mão de obra, simplificar o trabalho manual e produzir mais por menos. Menos tempo, menos custo, menos erros e menos peças defeituosas.

Com este documento pretende-se vir demonstrar os desenvolvimentos feitos em torno de um equipamento de teste e paletização de peças para a indústria automóvel, mais concretamente na programação de dois robôs de arquitectura SCARA.

Este projecto é mais um equipamento que auxiliará esta indústria a ser mais produtiva. Todo o processo de construção do produto foi deixado a cargo da empresa WRK, Lda, projecto este que deu fruto à presente dissertação.

O presente projecto aqui descrito vem no âmbito da Unidade Curricular de Tese/Dissertação (TEDI), do Mestrado em Automação e Sistemas, no Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP).

Nesta unidade curricular procura-se por à prova a forma como os conhecimentos foram consolidados ao longo do percurso académico na área de Engenharia Electrotécnica e de Computadores, que se iniciou com a Licenciatura e terminou com o Mestrado acima mencionado, com destaque principal para a automação, que é no campo onde este projecto se encontra inserido.

1.1 Contextualização

As vantagens da automação de processos nas empresas de produção já são bem conhecidas: custos de produção mais baixos, redução de tempos de produção e aumentos de produtividade, sistemas e dados integrados e mais qualidade no produto final.

Algumas empresas ainda oferecem resistência à mudança, resistência ao abandono de sistemas mais arcaicos e dependentes de mão de obra humana face a sistemas automatizados. Tal pode ser por medo da mudança, investimento inicial alto, receio de não dar retorno significativo e necessidade de profissionais mais qualificados na planta da empresa.

No entanto, mesmo estas empresas começam a aderir a sistemas autónomos, levadas pelo ditar do mercado, que mostra que as empresas que já aderiram demonstram melhores resultados e são mais competitivas [19][20][21].

Sendo o mercado de produção de peças automóvel muito interessado na automatização de processos para conseguir aguentar a demanda de material, é também onde se encontra um grande investimento nesta área.

Foi com isso em mente que um produtor de peças plásticas para automóveis, com uma planta fabril com um elevado grau de automatização recorrendo às mais diversas tecnologias, tais como robôs, PLC ou outros sistemas autónomos, procurou a WRK, Lda para desenvolver mais um equipamento para enriquecer a sua planta e continuar competitivo no mercado.

Tendo o cliente já alguma experiência na compra e também no desenvolvimento de máquinas automatizadas, é também exigente e decidido no que pretende, requerendo qualidade no produto a obter.

Desta forma nasce assim o projecto do qual é demonstrado nesta dissertação parte do seu desenvolvimento.

1.2 Objectivos

O objectivo do presente projecto é o desenvolvimento de um equipamento para fazer a incorporação de uma célula de fabrico. Este equipamento deverá ser capaz de testar peças electricamente e dimensionalmente à saída de um molde de injeção de plástico.

No entanto além do teste, o equipamento também deverá fazer a paletização das peças em caixas prontas a serem enviadas para o cliente final.

Antes de iniciar qualquer acção, é importante entender o que o cliente pretende, as suas exigências, as suas limitações, conhecer o seu método de trabalho e chegar a um consenso.

Desde o início do projecto é necessário seguir um conjunto de passos para se obter uma solução o mais adequada possível:

- Fazer uma análise de soluções equivalentes já desenvolvidas e compreender o que existe no mercado;

- Desenvolvimento mecânico enquanto se vai mostrando os progressos ao cliente e equipamentos a utilizar para garantir que tudo se encontra de acordo com o que pretende;
- Desenvolvimento do *software* e consequentes testes iniciais dos equipamentos;
- Alterações e ajustes ao *software*, para que todo o funcionamento fique ajustado ao que o cliente procura;
- Fazer testes finais para que quando o equipamento entre em funcionamento esteja o melhor possível;
- Desenvolver o manual de instruções e instruir o cliente do funcionamento do equipamento;
- Verificar o funcionamento do conjunto em produção real em conjunto com o cliente;
- Durante o tempo de vida do equipamento, oferecer suporte e manutenção preventiva.

1.3 A empresa

O projecto descrito neste documento, foi idealizado, projectado, construído e programado pela empresa WRK, Lda, cumprindo com os as especificações do cliente final da máquina.

A empresa WRK, Lda, logótipo na Figura 1.1, é uma empresa jovem especializada na construção de máquinas e equipamentos de teste e montagem de componentes para a indústria automóvel, servindo assim com qualidade os seus clientes com instrumentos que simplificam e aceleram os processos de fabrico dos seus produtos.



Figura 1.1: Logótipo da empresa WRK, Lda [1]

Localizada no Pólo Industrial de Zebreiros, Foz do Sousa (Gondomar), exerce as suas funções desde 2011, e possui uma estrutura muito completa, subdividindo-se em quatro grandes departamentos distintos: Projecto, Maquinação, Montagem e Automação. Um mapa da constituição da empresa pode ser visto na Figura 1.2.

O departamento de projecto é onde se iniciam os desenvolvimentos dos projectos, desenhando e modelando toda a estrutura da máquina e análise dos componentes que irão fazer a composição dos equipamentos desenvolvidos na empresa.

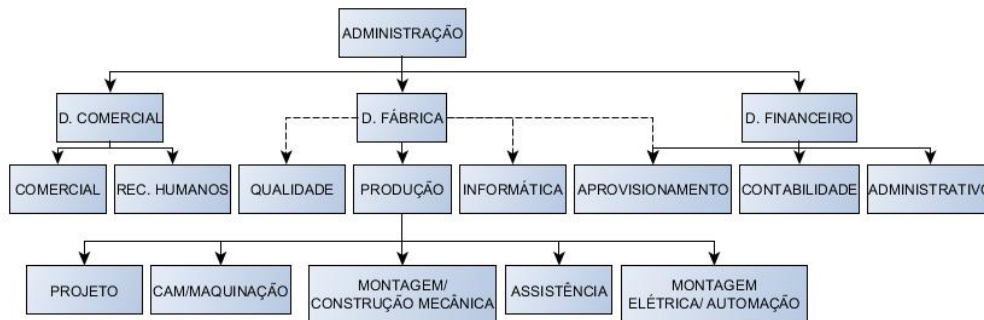


Figura 1.2: Organograma da constituição da empresa WRK, Lda

Tendo o projecto mecânico da máquina, esta passará ao departamento de maquinação, que com recurso a equipamento especializado como maquinação *Computer Numerical Control* (CNC), fresadoras e tornos, construirão as peças necessárias para a montagem da estrutura das máquinas.

O departamento de montagem será então responsável pela correcta montagem dos equipamentos, recorrendo às peças provenientes do departamento de maquinação assim como às instruções dadas pelo departamento de projecto.

Por fim, o departamento de automação, será responsável pelo projecto eléctrico da máquina e a sua programação. Existem profissionais dedicados à electrificação da máquina e montagem dos componentes eléctricos, assim como programadores para tratar da programação de PLC, consolas *Human-Machine Interface* (HMI), relés de segurança, robôs ou outro tipo de equipamentos que necessitem de ser programados ou parametrizados.

As máquinas quando se encontram prontas são submetidas a um processo de validação interna para que o cliente receba um produto acabado de qualidade e então, existirá uma validação por parte dos clientes para verificar que o equipamento que lhe será entregue cumpre com todos os seus requisitos.

Durante a vida útil dos equipamentos, a empresa também dará suporte com profissionais a dirigirem-se ao local onde os equipamentos se encontram para

prestar auxílio.

Para complementar os departamentos já descritos, existem ainda outros responsáveis por outras áreas para assegurar o bom funcionamento da empresa, nomeadamente os directores comercial, de fábrica e financeiro.

No presente documento, será descrita uma parte do desenvolvimento feito num projecto, nomeadamente ao nível do departamento de automação com foco na programação de dois robôs.

1.4 Calendarização

Todas as tarefas tomam o seu tempo e mesmo com datas definidas no anteprojecto, torna-se por vezes difícil cumprir por inúmeros imprevistos. No entanto um bom planeamento e gestão de um projecto são essenciais para que todo o trabalho fique organizado. Na Tabela 1.1 encontra-se a calendarização do projecto demonstrado nesta dissertação.

1.5 Organização

A dissertação encontra-se subdividida em 7 capítulos, começando por se fazer uma introdução teórica e explicação sobre o projecto, seguindo-se o desenvolvimento feito e finalizando com uma conclusão.

O primeiro capítulo é introdutório e é onde é feita uma contextualização do projecto, é feita uma apresentação da empresa WRK, empresa esta onde todo o trabalho foi desenvolvido e é demonstrada a calendarização do projecto.

O segundo capítulo trata-se do estado da arte, em que se faz uma análise dos robôs industriais e comparação entre os robôs Epson SCARA disponíveis no mercado.

O terceiro capítulo descreve a arquitectura do sistema, são demonstrados os equipamentos utilizados e como estes são incorporados na solução desenvolvida e interagem entre si.

No quarto capítulo é realizada uma descrição de decisões feitas nas primeiras interacções com os robôs, nomeadamente as configurações, algumas questões mecânicas e a descrição das ferramentas.

No quinto capítulo é demonstrado o desenvolvimento feito ao nível de *software* desenvolvido para os robôs. São demonstradas as decisões tomadas durante a programação e as razões que levaram a tais decisões.

O sexto capítulo, faz uma descrição generalizada da forma como foi implementada a segurança na célula, principalmente para a máquina desenvolvida pela WRK.

Por fim, o sétimo capítulo é onde são demonstradas as conclusões retiradas ao longo do desenvolvimento do trabalho descrito nesta dissertação.

Capítulo 2

Revisão Bibliográfica

No capítulo actual será feita uma análise aos robôs industriais mais comuns do mercado, com especial foco aos robôs de arquitectura SCARA, onde é feita uma comparação entre marcas que disponibilizam este tipo de robô. É feita ainda uma análise comparativa às paletizadoras convencionais face aos robôs.

2.1 Automação Industrial

Desde sempre o Homem procurou agilizar processos, reduzir tempos de produção, custos, e esforço físico humano. Embora o uso de moinhos ou mecanismos que utilizam a água e o ar como fonte de energia já remontem a centenas de anos atrás, apenas a massificação da energia eléctrica e os desenvolvimentos na electrónica feitos durante e após a segunda guerra mundial, permitiram que a automação industrial chegasse ao que se conhece hoje.

Automação, mais não é que um sistema que funciona de forma automática e que se consegue controlar e gerir a si próprio.

A automação industrial conjuga todo um conjunto de sistemas, desde a pneumática, a hidráulica ou a electrónica. Com este conjunto, tem-se actualmente máquinas poderosas que conseguem realizar trabalho com precisão nunca alcançada antes com mão de obra humana.

Um dos grandes impulsionadores da automação industrial foi a indústria automóvel [22]. Esta indústria está dependente da fabricação de uma enorme quantidade e diversidade de peças, assim como existe uma grande demanda por parte do cliente final, quer na qualidade, preço reduzido e tempos de entrega.

Estes factores entre outros forçaram a que os desenvolvimentos fossem maiores, tendo então outras indústrias seguido o mesmo rumo, como por exemplo a indústria têxtil ou metalúrgica.

Máquinas que já existiam antes também foram modernizadas, como é o caso dos tornos e das fresadoras, que antes eram operadas por trabalhadores e cada

vez mais são substituídas por máquinas CNC que cumprem o trabalho com maior rapidez e precisão, exigindo menos do operário mas garantindo um resultado final melhor.

Desta forma, com a renovação de máquinas e a introdução de novas, é difícil no panorama actual, encontrar empresas que não tenha pelo menos uma máquina automatizada no chão de fábrica.

Desde os PLC, os robôs ou os computadores, todas as novas tecnologias trazem máquinas e sistemas mais automatizadas e independentes do homem.

Os PLC foram um passo importante na automatização, pois vieram permitir que houvesse uma unidade que interpretava os sinais das máquinas e com base em entradas, tomar decisões, activando saídas. Foi como que se tivesse adicionado um "cérebro" a sistemas que até então ficavam dependentes do homem, e que as decisões que este pretendia que fossem tomadas para os diferentes casos possíveis de acontecer, eram retratadas na programação do PLC.

Da mesma forma, os robôs também foram um avanço significativo, pois estes manipulavam cargas similarmente como se de um braço humano se tratasse. Rapidamente, com as suas capacidades de carga cada vez superiores e precisão de pegar e pousar em locais exactos, mostraram-se óptimos aliados na substituição de pessoas em trabalhos de manipulação de cargas.

O próximo grande avanço na automação industrial, espera-se que seja relacionado com a Inteligência Artificial (IA) [23]. Com esta, será aumentada a monitorização dos equipamentos e são memorizadas as alterações das máquinas ao longo do tempo o que pode ser útil para notificar os responsáveis de, por exemplo, desgaste anormal de componentes da máquina, antes da próxima manutenção agendada.

Desta forma, prevê-se que se evitará paragens de funcionamento por material defeituoso, o que normalmente resulta em largos prejuízos por paragens de produção.

A IA pode ser incorporada na Indústria 4.0 [24][25], onde já se tem todos os sistemas a comunicar entre si, os dados a serem armazenados em sistemas de *Cloud*, os dispositivos ligados à Internet e sistemas cada vez mais inteligentes na tomada de decisões, para libertar o Homem de ter de fazer a análise de dados e tomar decisões em torno destes. Assim consegue-se reduzir o erro, realizar acções mais rapidamente e aumentar os níveis de produtividade.

2.2 Robôs

Segundo a definição da ISO [26], um robô consiste num mecanismo programável, de dois ou mais eixos, que efectue movimento para realizar tarefas complexas pré definidas sem intervenção humana.

No panorama actual é possível encontrar robôs a trabalhar em diversas áreas com funcionalidades diferentes, como por exemplo:

- Robôs de uso pessoal, como é o caso de cadeiras de rodas automatizadas;
- Robôs de uso profissional, na medicina a executar cirurgias ou no auxílio de combate a incêndios;
- Exploração espacial, como é o caso dos robôs enviados para Marte;
- Robôs de busca e salvamento, como foram usados no 11 de Setembro para encontrar sobreviventes;
- Robôs industriais, que são o caso onde existe maior número a operar.

Os robôs industriais, já se encontram bem presentes na indústria actual [27], o que não quer dizer que a tecnologia esteja estagnada. Aliás, tem-se visto nos últimos anos a surgirem os *Mobile Industrial Robots* (MIR) ou o crescente uso dos robôs colaborativos [28].

Duas características dos robôs que por vezes causam confusão na sua interpretação é a repetibilidade e a precisão. A precisão é a capacidade de o robô se aproximar do ponto pretendido com um mínimo desvio possível. Quanto mais próximo do ponto que se pretende, mais preciso é o robô.

A repetibilidade é a capacidade de conseguir-se aproximar diversas vezes desse ponto pretendido. É possível ter repetibilidade sem ter precisão, como ter precisão sem ter repetibilidade.

Um exemplo muitas vezes utilizado para demonstrar esta diferença é um alvo de dardos, em que se tem precisão se se conseguir acertar com o dardo ao centro, se tem repetibilidade se se conseguir acertar muitas vezes em torno do mesmo ponto do alvo e se possui ambos quando se acerta muitas vezes próximo do centro. Na Figura 2.1 é possível verificar esta comparação.



Figura 2.1: Comparação entre repetibilidade e precisão [2]

2.2.1 Arquitecturas de Robôs

Dentro dos robôs industriais, existem diferentes arquitecturas [29], sendo que todos possuem vantagens e desvantagens sobre as restantes, havendo a necessidade de se fazer uma análise de qual a melhor solução a adaptar para cada aplicação. Na Figura 2.2 é possível ver algumas das arquitecturas dos robôs.

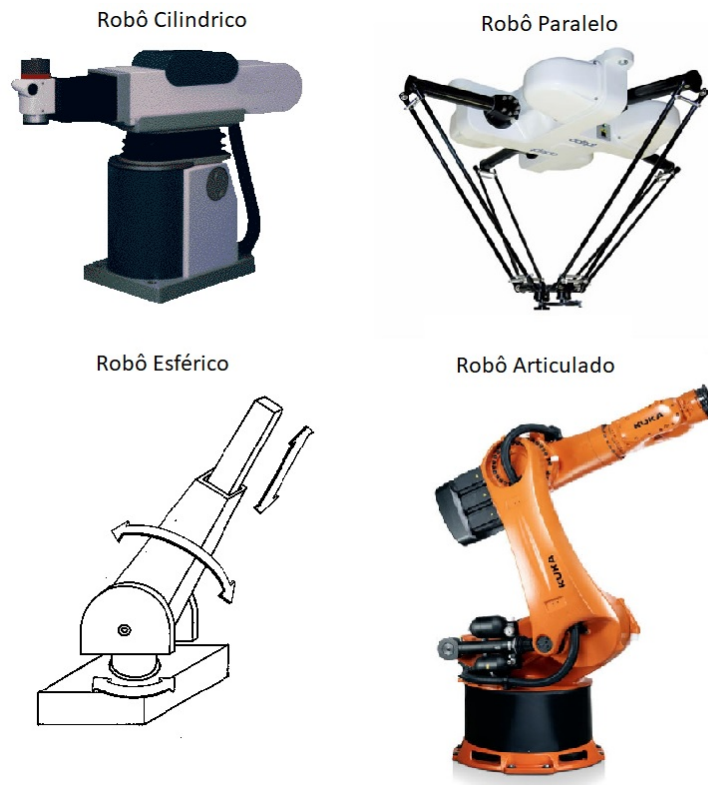


Figura 2.2: Diferentes arquitecturas de robôs [3][4][5][6]

Começando pelo robô cartesiano, este é um robô que se move sobre os três eixos X, Y e Z, sendo que a sua base de trabalho se move sobre o eixo X, o seu segundo eixo será o Y e por último o eixo Z que se moverá sobre os dois eixos anteriores.

De todos os tipos de robôs será a arquitectura mais simples, não menosprezando as suas capacidades. Estes robôs possuem uma área de trabalho rectangular, anulando pontos mortos que os robôs de outras arquitecturas possuem, ganhando assim área de trabalho. Outra vantagem prende-se pelo facto de a sua programação ser simples se comparado com outros robôs, dado que, apenas se terá a posição a três eixos em vez de múltiplos eixos rotacionais.

Até à pouco tempo, nos robôs de pequenas dimensões, existiam poucos fabricantes a oferecerem uma opção pré-feita deste tipo de robôs, sendo que a maioria eram os próprios integradores a fazer o desenvolvimento interno dos robôs. No entanto, os fabricantes de robôs de 6 eixos ou os SCARA já começam a ter opções neste tipo de robôs, o mesmo não se aplica para robôs de grandes dimensões, onde é possível ver em diversas plantas fabris, há já bastantes anos, os robôs da marca SEPRO.

Dentro dos robôs cartesianos, existem variações. Uma variação muito comum é a *Gantry*. A principal diferença é que possui mais que um actuador linear no eixo X. Desta forma aumenta a resistência e estabilidade da estrutura do robô para suportar o peso dos eixos subsequentes. Também pode existir com mais que um actuador linear para os restantes eixos. Na Figura 2.3 é possível verificar esteticamente a diferença de um robô *Gantry* com dois actuadores lineares no eixo do X e um robô com apenas um actuador por eixo.

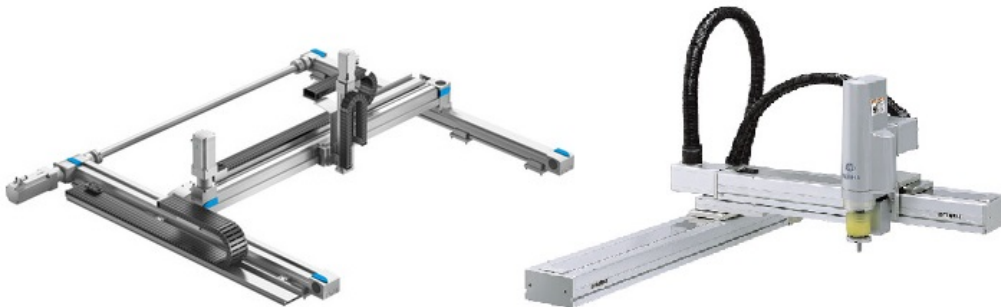


Figura 2.3: À esquerda um robô cartesiano do tipo *Gantry* face a um robô normal cartesiano à direita [7][8]

Embora se esteja a ter em conta que este robô tem três eixos e seja esta a configuração mais comum, podem existir robôs cartesianos com mais que três eixos.

Existe por vezes confusão entre as máquinas CNC e os robôs cartesianos, olhando para o tipo de movimento de ambos. No entanto são máquinas distintas e cada qual com as suas vantagens.

Os robôs cartesianos são tidos em conta quando se pretende um robô com uma já elevada precisão e uma capacidade de carga superior. Costumam ser também uma opção mais económica face a outras arquitecturas, tendo como desvantagem principal a área ocupada por este.

Os robôs cilíndricos (Figura 2.2) possuem uma combinação de eixos lineares com eixos rotativos. A sua base é sempre constituída por um eixo rotativo e possui pelo menos um eixo Z linear.

Um dos casos mais comum de se encontrar é um eixo rotativo na base, um eixo linear para X e outro para Z. Desta forma consegue-se fazer movimentação sobre o plano X e Y recorrendo ao movimento coordenado entre o eixo rotativo e o eixo X e ainda ter movimentação vertical, formando assim um movimento tridimensional.

Estes robôs derivado à sua forma são limitados na movimentação, sendo difícil fazer o desvio de obstáculos tornando-se esta uma das suas desvantagens. É uma arquitectura que vem caindo em desuso e é pouco comum de ver derivado à sua limitação na movimentação. No entanto, comparativamente ao robô cartesiano, tem como vantagem ocupar menos espaço no chão de fábrica, dado que apenas fica apoiado no solo o seu eixo rotativo, que geralmente para aplicações equivalentes, possui menor área que todo um eixo linear.

Os robôs esféricos, tal como o nome indica, possuem uma área de trabalho esférica, possuindo duas juntas rotacionais, sendo uma na base e outra no cotovelo. Por fim possui ainda uma junta linear (Figura 2.2).

Comparativamente com o robô cilíndrico, possui uma área de trabalho mais ampla, mas no entanto, como possui mais uma junta rotativa, torna-se mais difícil de fazer o seu controlo.

Os robôs paralelos (Figura 2.2), foram desenvolvidos para fazer *Pick and Place* de materiais pequenos e leves com elevada rapidez, sendo vistos a operar em sistemas de empacotamento.

Este robô possui vários braços ligados à sua base e na outra extremidade ligados à sua ferramenta. Estes são controlados por motores individuais que necessitam de trabalhar sincronizadamente para poder criar os movimentos pretendidos.

Aquele robô que possivelmente é o robô mais implantado na indústria é o robô articulado. De todas as arquitecturas é esta a que mais semelhanças possui com um braço humano.

Esta arquitectura encontra-se disponível em diferentes tamanhos conforme a aplicação que se pretenda. A combinação mais comum é com 6 eixos (ou juntas) rotativas, dando uma possibilidade grande de movimentos e posições dentro da sua área de trabalho.

Podem ser encontrados a fazerem desde soldadura, pintura, empacotamento ou paletização. Como possuem 6 eixos rotativos, conseguem ser aplicados em diferentes situações. Derivado aos eixos se poderem mover em simultâneo, obtém-se também uma velocidade alta nos movimentos.

2.2.2 Robôs SCARA

Os robôs de arquitectura SCARA possuem como característica duas juntas rotativas paralelas, que fazem este se mover sobre o plano horizontal, possuem um eixo vertical no seu extremo para poder mover a sua ferramenta no plano vertical e por sua vez, este eixo é também ele rotativo, podendo orientar a ferramenta em diferentes direcções. É por este motivo que por vezes este robô é apelidado de robô de 4 eixos.

São robôs geralmente robustos e que primam pela sua rapidez. Por norma não transportam cargas de elevada massa sendo que os robôs utilizados nas aplicações mais comuns não costumam ultrapassar os 10 kg de capacidade de carga, mas existem no mercado opções com maiores capacidades.

O facto de se poder dobrar sobre si, dá-lhe a capacidade de poder passar por espaços reduzidos e de contornar objectos quer horizontalmente como verticalmente.

Os quatro eixos podem ser movidos em simultâneo, ou seja, estar a alterar a orientação da ferramenta enquanto se movimenta a três dimensões.

Como é um robô com bastantes vantagens, é utilizado para exercer diversas funções, entre elas:

- *Pick and Place*, para fazer o transporte de material entre pontos. Como o robô tem uma elevada repetibilidade e precisão, consegue colocar peças com exactidão e rapidez;
- Paletização, pois como os SCARA possuem um eixo vertical que geralmente tem um diâmetro curto, consegue inserir objectos dentro de caixas sem risco de colisão.
- Inspeção visual, para analisar a qualidade de um produto, desde que possuía acoplada na sua ferramenta um sistema de visão. É possível ainda utilizar o sistema de visão para orientar o robô e saber onde colocar objectos transportados por este;
- Teste de componentes, pois com uma ferramenta apropriada é possível a um SCARA fazer por exemplo testes a um ecrã táctil ou com pontas de prova fazer testes eléctricos ao levar as pontas até aos pontos a medir.

Embora possuam várias vantagens, também têm desvantagens por não conseguirem elevar cargas acima da sua estrutura. Para combater essa limitação, há fabricantes a disporem de soluções *ceiling mount*, para fazer a montagem em tectos ou estruturas, ficando o robô a trabalhar de forma invertida, apoiado numa

base paralela ao plano de trabalho do robô. Existem ainda robôs com o eixo dos Z invertido para facilidades de trabalhos.

Muitas vezes os braços robóticos são associados aos braços humanos. Na Figura 2.4 é possível ver a associação feita. A primeira junta do robô é associada ao ombro humano, enquanto que a segunda é associada ao cotovelo e por fim a terceira e quarta juntas são associadas ao pulso. Esta associação é feita para que seja de melhor entendimento de que parte do robô se fala.

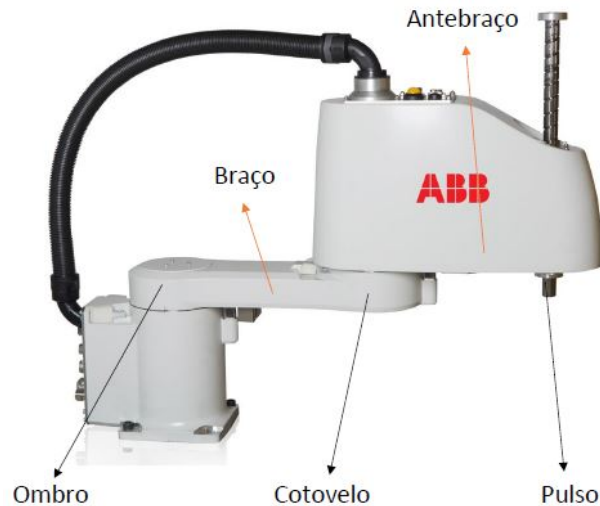


Figura 2.4: Associação do robô SCARA ao braço humano [9]

Da mesma forma que se faz associação das partes do robô com partes humanas, também conforme a orientação do robô se considera este estando como braço direito ou braço esquerdo. Se o ângulo formado entre o braço e o antebraço do robô for menor que 180° , considera-se que este se encontra como sendo braço esquerdo. Se por outro lado, o ângulo for superior a 180° , então considera-se estar a trabalhar com o robô como braço direito.

Sendo este um robô imensamente propagado na indústria, existem muitas marcas com soluções nesta área. Entre elas encontram-se as maiores fabricantes de robôs do mundo, tais como a Epson, a ABB (robô da Figura 2.4), FANUC, Mitsubishi Electric ou KUKA.

Na tabela presente no Anexo B, é possível ver alguns modelos dos fabricantes aqui mencionados. As características de cada modelo de robô são partilhadas pelos fabricantes. Ao fazer a construção da tabela e ao analisar a própria é possível tirar algumas ilações.

A ABB, embora especialista em robôs articulados, apenas dispõe de três opções entre os SCARA. Todos eles possuem a mesma repetibilidade e a mesma

capacidade máxima de carga, diferindo apenas na sua dimensão e consequentemente no seu alcance. Além das três opções, possui ainda no seu portfólio um robô SCARA de montagem invertida, ou seja de montagem no tecto [30][31].

Olhando para a oferta da ABB nos robôs articulados e comparando com outras marcas, conclui-se que os SCARA não é um mercado onde a ABB tenha um grande investimento, marcando a sua presença apenas com um total de 3 modelos diferentes. Tal pode acontecer devido ao facto de a sua presença no mercado dos SCARA ser recente (desde 2015) face à sua produção de robôs articulados, onde marca presença desde a década de 70, ainda sobre o nome ASEA.

De forma similar à ABB, também a FANUC e a KUKA não possuem uma oferta muito rica. A FANUC possui apenas dois modelos de robôs com capacidades de carga de 3 ou 6 kg e com alcance horizontal de 400 mm e 650 mm, respectivamente [32][33][34].

A KUKA, também só possui opções com duas diferentes capacidades máximas de carga (5 e 10 kg), e dentro de cada opção possui com diferentes alcances horizontais, que podem ir desde os 350 mm até aos 850 mm [35][36].

A Epson, contrariamente às marcas anteriores, possui uma vasta oferta de robôs SCARA, chegando a ter mais de 200 referências diferentes, sendo logo desde início possível distinguir entre três gamas distintas. A gama mais económica é a gama T, em que a Epson oferece robôs a um custo reduzido, com controlador incorporado no próprio robô, sendo o robô também ele compacto. Nesta gama, existe oferta de robôs com capacidade de carga máxima de 3 e 6 kg com um alcance horizontal máximo de 600 mm [37][38].

Seguidamente, encontram-se os robôs da gama LS. Existe nesta gama uma maior variedade de oferta. A própria construção destes robôs é mais robusta face aos robôs T, assim como possuem velocidades mais elevadas. Na gama LS, encontram-se opções com capacidades de carga desde os 3 kg até aos 20 kg e estes robôs propõem-se a oferecer um bom equilíbrio preço/benefício [39][40].

A gama G é a gama mais completa da Epson, mas também a mais cara. Possui oferta desde 1 kg de capacidade de carga até 20 kg, e são robôs com uma qualidade de construção superior. Ambas as gamas LS e G possuem controladores externos ao robô [41][42].

Por fim existe ainda uma gama de robôs SCARA, RS, de fixação no tecto, que possuem como característica o facto de o antebraço do robô se poder mover debaixo do braço do robô.

Dentro da gama LS e G, a Epson possui ainda robôs de ambiente limpo e de montagem em parede e montagem em tecto. Esta última provê uma área de trabalho ainda maior, pois permite ao robô aceder a áreas que não seriam

possíveis com um robô normal, por causa da base do robô se encontrar dentro da área de trabalho.

Os robôs de ambiente limpo são utilizados em indústrias como a alimentar e farmacêutica e são utilizados pois as suas características não contribuem para a contaminação de partículas. Para tal, este possui uma construção mais cuidada, com uma carcaça mais isolada, e isolando os seus cabos e tubos de pneumática no interior do robô. O próprio veio vertical do robô SCARA, que possui massa para diminuir o seu atrito e aumentar a sua lubrificação, também este é isolado para que não contamine o ambiente em que se encontra inserido com agentes externos ao local, ao contrário das variantes normais que possuem o veio destapado. Na Figura 2.5 é possível ver do lado esquerdo um robô de ambiente limpo, com o característico veio coberto. Do lado direito, um robô RS3 de montagem no tecto.



Figura 2.5: À esquerda, um Epson SCARA LS10-B802C e à direita, um SCARA RS3 [10][11]

As referências da Epson, embora tenham significado para a empresa, também são fáceis de entender para que um utilizador possa retirar de imediato algumas características do robô. Na Figura 2.6 é possível verificar como se pode saber a gama, a capacidade de carga e o alcance horizontal e vertical de um robô SCARA da Epson. Além do que se encontra demonstrado na figura, é possível ainda encontrar a letra B a seguir ao traço, significando que é a segunda revisão do robô.

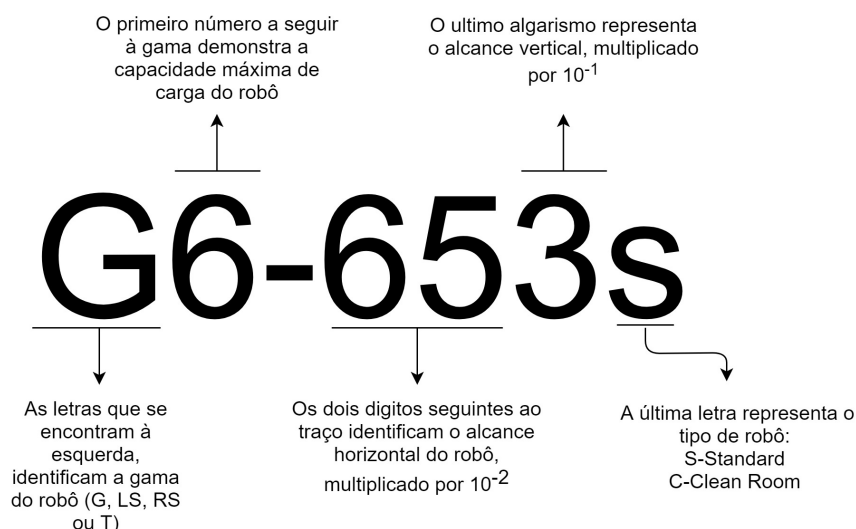


Figura 2.6: Interpretação da referência de um robô Epson SCARA

O aspecto dos robôs são muito similares entre si, sendo que facilmente se distinguem num ambiente fabril, os robôs de arquitectura SCARA dos restantes.

Em geral todos os robôs desta arquitectura possuem linguagens próprias de cada marca para a sua programação, mas todas elas são derivadas de linguagens como C/C++, Java ou Basic. A aprendizagem da própria linguagem de cada robô, costuma ser simples, sendo necessário entender a sintaxe de cada uma.

No caso dos robôs da marca Epson, estes são programados recorrendo à linguagem SPEL+, sendo para tal necessário o *software* Epson RC+, que se encontra, no momento, na sua sétima versão.

Com o Epson RC+ (Figura 2.7) é possível fazer a definição de pontos no robô, definição de *boxes*, configuração do controlador, controlar eixos e programar. É o único *software* necessário para fazer todas as acções necessárias para o correcto funcionamento do robô. Este *software* possui ainda um simulador, onde é possível, de forma gráfica, ver o robô a movimentar-se, o que pode ser útil por exemplo na criação das *boxes*.

É possível que a conexão entre o controlador do robô e o computador que possui o *software* seja feita por Ethernet/IP ou por *Universal Serial Bus* (USB). Existe ainda a possibilidade de fazer conexões a robôs virtuais para que seja possível executar simulações mesmo não estando conectado a um robô.

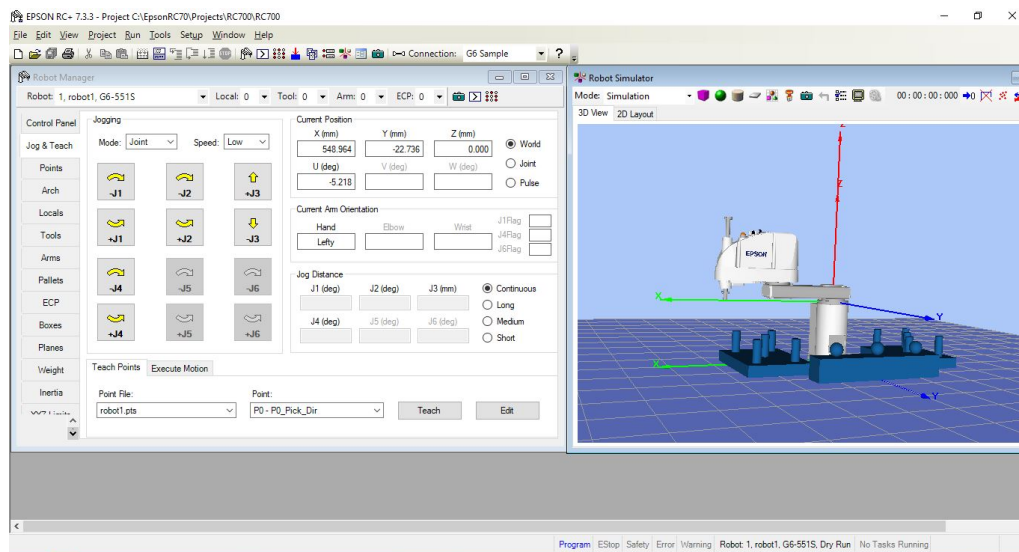


Figura 2.7: Interface do *software* Epson RC+, onde é possível entre outros, movimentar o robô e verificar no simulador o movimento

A Mitsubishi, também de forma similar à Epson, possui uma oferta muito vasta, que em comparação à oferta e características se mostra muito equivalente à marca anterior [43].

Embora existam marcas com presença no mercado dos SCARA, das marcas analisadas, as que demonstram maior oferta é a Epson e a Mitsubishi. A Yamaha também se começa a mostrar uma forte concorrente no mercado com uma oferta significativa e superior à ABB. Não deixa de ser curioso que marcas como a KUKA tenham uma existência bem definida no mercado dos robôs mas no entanto pouca oferta na opção dos SCARA, o que transmite a imagem de a marca não dar muita importância a essa arquitectura.

Surgem ainda outras marcas pouco conhecidas do mercado com ofertas a preços reduzidos, mas estas demonstram pouco suporte ao produto e características e qualidade de construção abaixo das restantes marcas.

2.3 Paletizadoras Convencionais

Quando surge o termo "paletização", rapidamente se associa à organização de produtos ou caixas, em paletes. Esta associação não está completamente errada, até porque os sistemas mais antigos é o que fazem mas na verdade a paletização no panorama actual é bem mais completa.

Nos sistemas mais rudimentares de paletização, também conhecidos como paletizadoras convencionais quando se quer distinguir dos sistemas mais avança-

dos em que já são usados braços robóticos por exemplo, o princípio de funcionamento é muito similar entre os fabricantes. Geralmente o sistema é apoiado em apenas duas coisas: um tapete rolante e cilindros pneumáticos.

Então, o cenário mais habitual consiste num tapete rolante por onde as embalagens são transportadas e com o auxílio de cilindros pneumáticos que são accionados ao longo do tapete em momentos oportunos, as embalagens são colocadas na orientação pretendida e guiadas para que um conjunto de embalagens formem uma camada a ser colocada na palete que geralmente se encontra no fim da linha. Por fim existe uma mesa formadora da camada onde cilindros confirmam que as embalagens estão alinhadas e sem espaçamento entre elas.

Existem dois tipos de paletizadoras, as de baixo e as de alto nível. Nas paletizadoras de baixo nível, após estar formada a camada a ser colocada na palete, uma plataforma coloca essa nova camada no topo da palete, baixando ou elevando conforme a altura face ao topo da palete, repetindo o processo ciclicamente até a palete se encontrar cheia e então um sistema de transporte próprio ou um transportador de paletes a remove e seja inserida uma nova palete vazia.

Nas paletizadoras de alto nível, Figura 2.8, as novas camadas são concebidas na mesa formadora que se encontra na parte superior da palete e esta baixa à medida que se encontra mais carregada, sendo que o fundo da mesa abre ficando a camada em cima da palete. Este tipo de paletizadora é geralmente mais rápido que as de baixo nível pois enquanto que a camada se forma, a palete já fica posicionada para receber a nova camada em vez de ter de se fazer um deslocamento da camada para o topo da palete.



Figura 2.8: Paletizadora convencional de alto nível [12]

Existem variantes deste sistema adaptadas aos produtos que se pretende tratar pelo que pode haver diferenças neste processo.

Facilmente se percebe, que o sistema, do ponto de vista tecnológico para os olhos de hoje é pouco avançado, mas na verdade pode ser uma vantagem a nível de manutenção e reparação. Embora existam muitas partes móveis, levando a que seja feita uma manutenção mais frequente, não requer profissionais com elevado grau de formação para a sua manutenção e as peças de substituição são comuns.

Outra característica destes sistemas de paletização são a rapidez, pois como se encontram maioritariamente acoplados na própria linha de produção, não requerem um transporte adicional nem processos complexos de manuseamento e a paletização pode ser feita exactamente a seguir ao empacotamento do produto.

No entanto, como se pode imaginar, é necessário ter espaço suficiente para efectuar manobras de orientação da embalagem para formar a camada da palete, e normalmente só depois da nova camada estar pronta é que é colocada nesta, salvo alguns casos que a camada é formada já na própria palete. Assim sendo é necessário ter disponível, além da área ocupada pela palete, a área onde se forma a nova camada, sem esquecer o espaço ocupado por toda a estrutura da máquina.

De notar, que como se trata de uma solução adaptada a cada caso, fica-se limitado à sua versatilidade. Se existirem alterações físicas no formato ou tamanho das embalagens a serem paletizadas, será preciso também uma alteração mecânica no sistema, o que pode ser dispendioso ou mesmo impossível.

Por vezes, quando surge o termo paletização, não se quer fazer referência ao ato de colocar em paletes, mas sim da organização dos produtos em caixas. Para estes fins, um sistema comum é a formação também através de um tapete e cilindros de uma camada que é posteriormente empurrada para dentro de uma caixa que se encontra rodada 90°, com a abertura para o lado. Quando a caixa se encontra cheia, é colocada na sua orientação correta.

Para se afirmar ter uma solução eficiente é necessário que esta cumpra com o seu objectivo com o mínimo de recursos e no menor tempo possível. Assim sendo, como com a paletizadora convencional se consegue atingir o objectivo para que foi projectada, com baixos recursos tecnológicos e com grande rapidez pode-se afirmar que se trata de uma solução eficiente.

No entanto, cada vez mais se procuram soluções ainda mais eficientes e como tal, os robôs têm vindo a retirar mercado às paletizadoras. A primeira vantagem que surge é o espaço necessário para a paletização. Em segundo, o robô tem a capacidade de cumprir mais que uma função e assim sendo este consegue por exemplo pegar num produto de um local e fazer o seu correcto posicionamento numa caixa ou palete directamente sem ter de recorrer a transportadores.

Existem ainda vantagens na reutilização. Uma paletizadora quando construída é para cumprir uma tarefa em concreto para um produto ou caixa pré definido. Se um determinado produto deixar de ser paletizado, a máquina perde a sua utilidade, pois apenas serve para tal tarefa e mesmo que se pretenda que paletize um produto diferente, é necessário efectuar-lhe alterações dispendiosas.

Com o robô tal não acontece, pois este é possível reprogramar e construir-lhe uma nova ferramenta, ficando assim disponível para cumprir uma nova função que pode ser totalmente diferente da paletização.

A sua versatilidade também merece destaque, pois enquanto que qualquer alteração que seja necessária na paletizadora envolverá alterações mecânicas e possivelmente novas peças, com o robô essas alterações podem ser feitas apenas com *software*.

Capítulo 3

Arquitectura do Sistema

Para as empresas maximizarem o foco na área de trabalho em que estão inseridas, por vezes entregam partes do trabalho necessário para o normal funcionamento da organização a entidades externas. São vários os casos onde são feitas subcontratações de empresas, como nos serviços de limpeza, contabilidade, ou recursos humanos. A esta actividade dá-se o nome de *Outsourcing*.

O *Outsourcing* pode ser de produtos ou serviços e tem vantagens associadas. Entre elas:

- A empresa que subcontrata serviços fica mais livre para se poder dedicar ao seu processo principal;
- Permite o acesso a informação, tecnologias, bens e recursos que não existiam previamente no núcleo da empresa, enriquecendo assim o seu meio;
- Torna a empresa mais competitiva;
- Diminui o custo e tempo de investigação e formação em áreas da empresa enfraquecidas ou inexistentes.

Foi ao olhar para as vantagens de subcontratação de empresas especializadas, que uma empresa experiente na injeção de plásticos, mais precisamente no fabrico de peças com elevado grau de precisão dimensional, decidiu procurar a WRK, Lda para em conjunto encontrar uma solução para a auxiliar nos processos subsequentes à injeção de uma peça destinada ao ramo automóvel e que agradasse simultaneamente ao cliente final da peça assim como à empresa produtora.

A solução procurada pelo produtor, teria como objectivo vir a integrar a célula de fabrico da peça, de forma a minimizar a integração humana no processo de teste e acondicionamento do produto final, para obter uma melhor produtividade e evitar erros nos testes da peça face ao uso de um método mais manual.

Como é possível verificar existe aqui mais que uma entidade envolvida:

- O cliente da peça, que encomendou a produção à empresa de injeção de plástico;
- O cliente da máquina, o produtor da peça de plástico a quem a primeira entidade encomendou o fabrico e que por sua vez pediu o auxílio à empresa WRK, Lda para a produção de uma máquina de testes;
- A WRK, Lda que prestou os seus serviços à segunda entidade apresentada.

Neste capítulo será feita uma descrição da idealização que o cliente da solução tinha ao procurar a empresa WRK, com um maior foco no desenvolvimento feito em torno dos robôs utilizados na solução assim como na segurança.

3.1 Requisitos do Sistema

O cliente da máquina tinha em mãos um projecto de produção de peças de plástico para uma entidade da indústria automóvel. O cliente final da peça tinha exigências em relação às características e controlo de qualidade da peça, não podendo esta apresentar defeitos à chegada do cliente final.

Por parte do cliente da máquina, a exigência era uma solução capaz de à saída das peças de uma máquina de injeção de plásticos, o equipamento fosse capaz de realizar testes eléctricos e testes de visão para garantir as medidas da peça. Após os testes, deveria fazer a paletização das peças em caixas separadas, conforme as peças tivessem passado ou não nos testes com os parâmetros exigidos pelo cliente da peça plástica.

Para auxiliar às exigências do cliente final da peça, o produtor da peça, necessitava de um equipamento, anexo à sua máquina de injeção, para fazer as tarefas de teste e paletização.

O ambiente onde a solução seria inserida, seria então uma célula fabril, com vários equipamentos, cada qual com funções bem definidas. Na Figura 3.1 é possível ver um esboço da planta onde seria introduzida a máquina de testes e paletização.

À esquerda da figura, é possível ver uma "Máquina de Pinos", onde serão feitos os pinos metálicos a ser incorporados nas peças. O "Robô Kuka 1" irá por sua vez, a essa máquina retirar os pinos e deixar num suporte onde o "Robô Kuka 2" irá buscá-los com a sua mão presa. No total, o robô 2 irá pegar 8 conjuntos de pinos de cada vez.

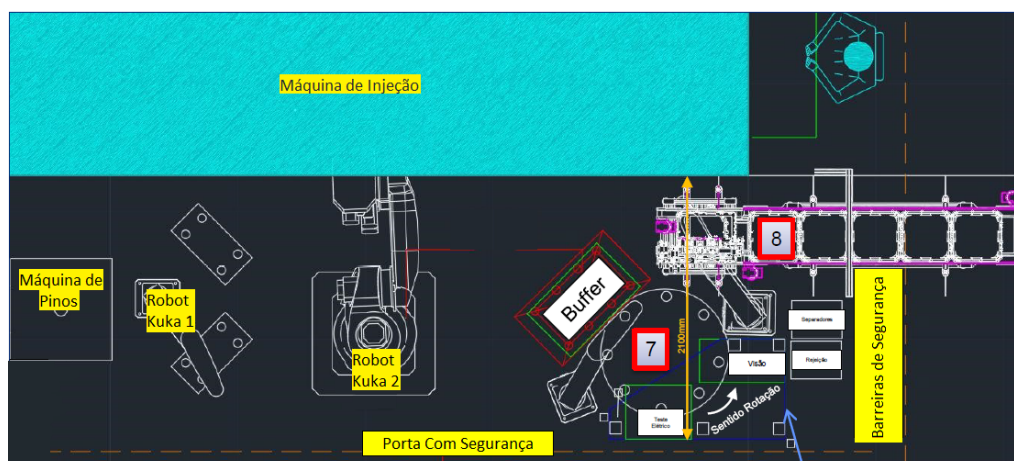


Figura 3.1: Esboço da planta da célula

A máquina de injeção, que ocupa toda a área azul visível na Figura 3.1 abre uma porta lateral, dando acesso ao interior do molde quando este se encontra aberto. Quando o segundo robô tiver os insertos (pinos metálicos a serem incorporados na peça) na sua mão irá colocá-los no molde e se afastar da máquina de injeção. Então, o molde fechará e será dado início ao processo de injeção da peça.

Quando a máquina de injeção tiver as peças prontas, o molde abre e o robô Kuka 2 irá buscar as peças injectadas (oito peças por cada ciclo de injeção). Enquanto ocorre o ciclo de injeção, o robô enche novamente a sua mão presa com novos pinos, e ao recolher as peças, deixa ficar os pinos no molde para o ciclo seguinte de injeção. De seguida o robô transporta então para um *buffer* as peças quentes que saíram da injeção.

Os processos seguintes aos aqui descritos seriam então o processo de inspecção, teste e paletização das peças que saíram da injeção. No esboço da planta apresentado pela empresa produtora da peça plástica, existe também um esboço do espaço disponível para a solução que foi pedida à WRK, Lda para desenvolver. Todos os processos seguintes, embora pedidos pela empresa de injeção e segundo os seus critérios, foram feitos pela WRK, Lda.

Os requisitos pedidos à WRK no caderno de encargos do projecto, eram uma máquina, com um *buffer* para oito peças, onde serão deixadas as peças pelo Robô Kuka 2 já presente na célula, em que o ninho de cada peça precisa de ter detector para saber se o robô Kuka deixou as oito peças. No caderno era ainda pedido que um Robô Epson Scara LS6 ou modelo similar fizesse o esvaziamento do *buffer*, peça a peça para um prato rotativo.

O prato rotativo deveria ter 8 posições em que cada uma tem ninho para 2 peças. Numa posição específica do prato seria onde o robô deixaria as peças, e ao ter deixado duas peças nessa posição, o prato roda deixando espaço novamente para duas peças.

O prato rotativo, por sua vez, ao rodar iria fazer as peças passarem por diferentes postos, em que cada posto faria os testes exigidos pela empresa. Estes testes consistem em testes de isolamento e continuidade dos pinos eléctricos, sendo que foi pedido um equipamento de medição HIOKI ST5520 para os testes, assim como verificação com recurso a visão artificial de propriedades dimensionais da peça tais como medidas e verificação da presença de furos e pinos assim como a sua integridade.

Para retirar as peças à saída do prato rotativo, era recomendado pela empresa de injeção de plásticos, que novamente um Robô Epson Scara LS6 ou similar (tendo de se confirmar as medidas) fizesse a retirada das peças e as paletizasse em caixas diferentes, conforme tivessem passado ou não nos testes feitos nos diferentes postos pelos quais as peças passaram ao rodar o prato. As caixas serão designadas de "Caixa OK" para o caso da caixa que recebe as peças que foram aprovadas por todos os testes e de "Caixa NOK" (Não OK), para a caixa que irá receber as peças que reprovaram num ou mais testes.

Para a paletização em caixas, o cliente tem caixas onde as peças seriam acondicionadas, sendo que cada caixa teria espaço para 100 peças, acomodadas em 5 camadas de 20 peças cada uma, separadas por um separador plástico, sendo que no fundo de cada caixa, também levará um separador, totalizando também 5 separadores por caixa. A Figura 3.2 representa como seria esperado que ficasse uma caixa cheia de peças, com os separadores entre camadas.

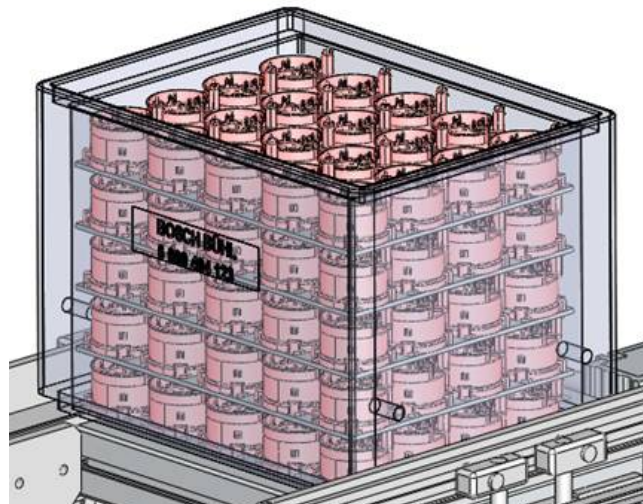


Figura 3.2: Representação de uma caixa com peças

Era pedido que as Caixas OK vazias chegassem por intermédio de um tapete rolante ao posto onde seriam cheias pelo robô e assim que a caixa estivesse completa, ou seja, com 100 peças, a caixa desceria num elevador e de seguida transportada por outro tapete rolante no sentido inverso. A acção de colocar as caixas vazias e retirar as cheias seria feita por um operário.

As Caixas NOK seriam introduzidas por um operário, numa posição predefinida e retiradas assim que estiverem cheias.

Todo o processo deve ser feito em tempo inferior a 40 segundos, sendo este considerado o tempo de ciclo. Como forma de medida, considera-se este tempo máximo para a operação desde que são deixadas as peças no *buffer* de entrada até que o *buffer* fique novamente pronto para receber 8 peças. Este período deve ser inferior ao tempo do molde concluir um ciclo de injeção, para evitar que o molde fique muito tempo em aberto a aguardar e crie alterações de temperaturas acentuadas neste.

A nível de segurança existiam também algumas exigências como a de fechos de segurança nas portas de acesso à célula prevendo o uso de duas portas e barreiras de segurança em zonas que houvesse possibilidade de um operador passar ou colocar um membro dentro da célula. Para as verificações, o PLC de segurança a ser usado deveria ser o OMRON G9SP.

Toda a parte de idealização complementar, projecto, maquinação, montagem e electrificação da solução foram desenvolvidos na WRK, Lda. A programação da mesma foi entregue ao departamento de automação da empresa.

3.2 Arquitectura do Sistema

Para se obter o resultado final concordante com o que o produtor da peça tinha idealizado, foi necessário todo um trabalho dos departamentos presentes na WRK. Desde o departamento de projecto que efectuou o projecto da parte mecânica até ao departamento de programação, foi necessário um esforço activo de todos os departamentos para a elaboração do produto final. Analogamente à forma como a máquina foi concebida, também a sua forma de funcionamento é resultado da integração entre diversas componentes. Na Figura 3.3 pode-se observar a forma como os diferentes componentes do sistema se conciliam.

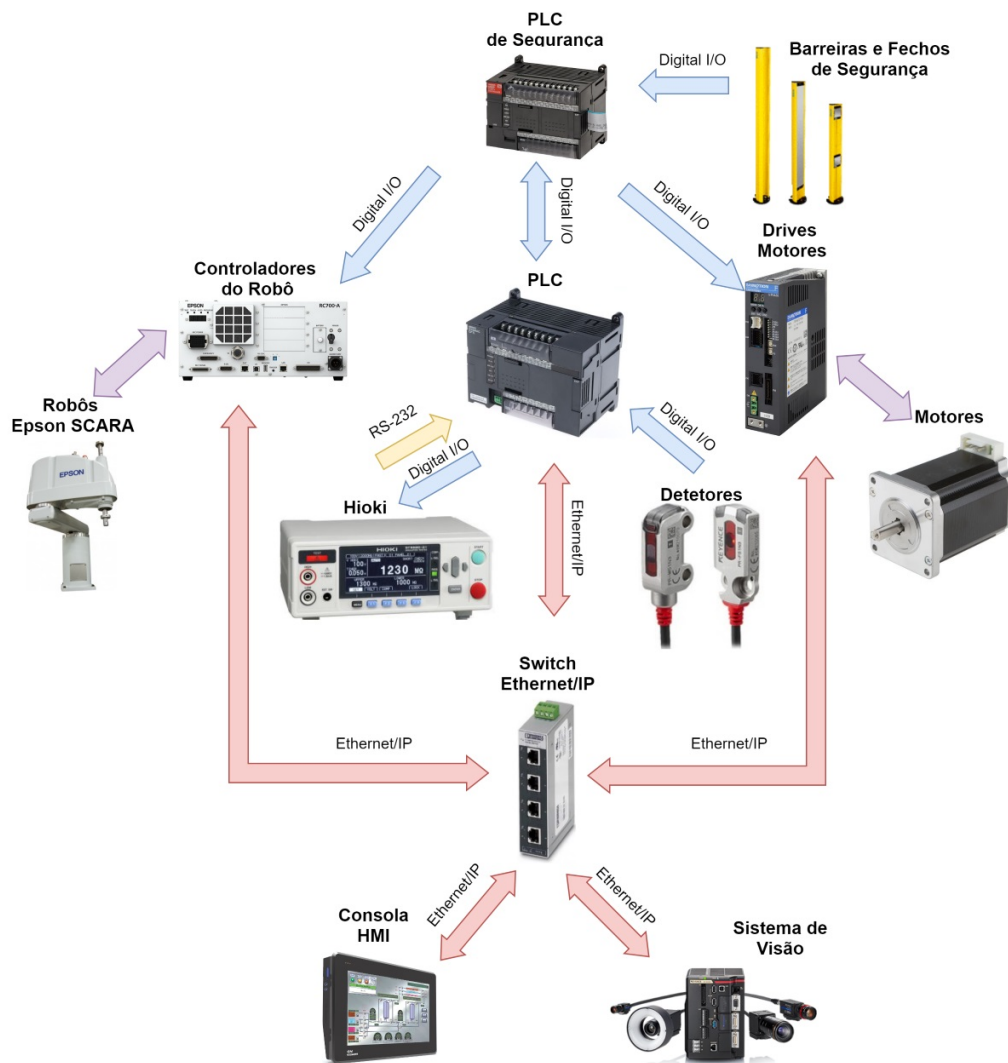


Figura 3.3: Arquitectura do sistema descrito

Olhando para os robôs propriamente ditos, estes, por si só, não possuem capacidade de se controlarem directamente, sendo necessário um controlador dedicado. É o controlador que interpreta o código, comandos e ordens e os transforma em impulsos para os motores dos robôs, de forma interpolada gerando assim os movimentos pretendidos.

No caso dos robôs usados neste projecto, o seu controlador para iniciar o programa precisa também de um controlo externo, que pode ser por exemplo um computador ou um PLC.

Existe ainda em toda a máquina a necessidade de interpretar sinais e de fazer o controlo de motores e outros periféricos. Então, para esse efeito é usado um

PLC, o controlador mais utilizado na indústria dada a sua robustez, fiabilidade, às suas capacidades de expansão e capacidades de processamento.

Aproveitando-se então o PLC já presente no sistema, este será usado como meio de controlo do controlador do robô, usando paralelamente a capacidade dos controladores do robô de executarem código, para minimizar a sobrecarga do PLC, deixando este mais livre para execução de outras tarefas.

Quanto à comunicação entre os componentes aqui descritos, existem diversas possibilidades. Sendo a tendência a redução da quantidade de cabos, a comunicação por Ethernet/IP tem-se demonstrado fiável para este tipo de interligações, sendo apenas necessário um *Switch* para a interligação, em que os controladores e o PLC são ligados ao *Switch* como mostra a Figura 3.3 com cabo de rede.

O PLC, gere o controlador dos robôs, para dar início ao programa, parar o robô ou ainda dar ordens de início de movimento.

3.3 Descrição Generalizada da Arquitectura do Sistema

Será feita uma descrição geral dos componentes que fazem parte da arquitectura do sistema descrita atrás.

3.3.1 Epson SCARA

Os robôs de arquitectura SCARA, para o sistema desenvolvido, oferecem como vantagem a base do robô que ocupa pouco espaço, a rapidez de trabalho para cumprir com o tempo de ciclo pretendido e a forma como as duas partes do braço se dobram facilmente para facilitar o seu movimento aquando da passagem em zonas apertadas assim como em movimentos que sejam feitos em zonas comuns de ambos os robôs.

As soluções adoptadas para o projecto foram os Epson SCARA. O facto do cliente da máquina já ter no passado trabalhado com estes mesmos robôs com resultados satisfatórios, assim como os seus técnicos já terem conhecimentos da forma de manutenção dos robôs da marca, foram aspectos que pesaram na hora da escolha da marca a optar. A somar a esses factos, a marca em si tem boa representação e suporte em Portugal tendo então a escolha recaído sobre esta opção. O uso destes robôs era um dos pedidos do caderno de encargos da solução.

Para ambas as tarefas que eram necessários robôs, ou seja, o esvaziamento do *buffer* para o prato rotativo, e a segunda tarefa que seria esvaziar o prato e encher as caixas, a proposta era que fossem utilizados o modelo LS6 ou similar. Na Figura 3.4 é possível verificar este modelo de robô e a numeração das suas juntas. O modelo em concreto é o Epson LS6-602S.

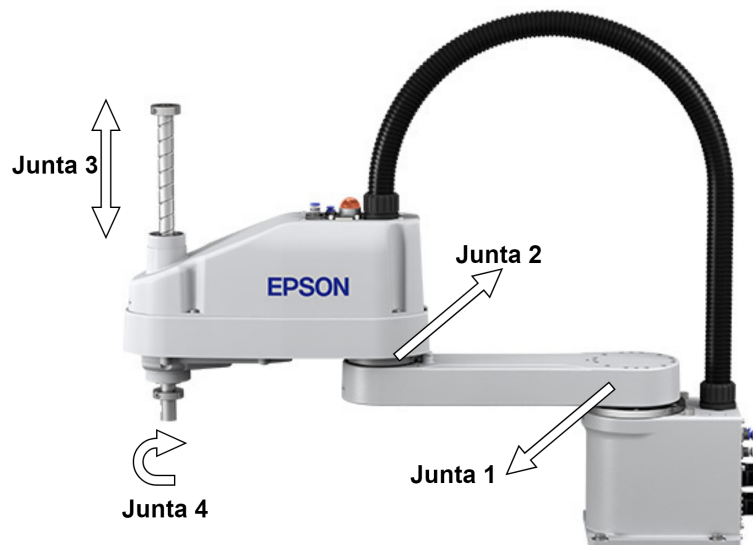


Figura 3.4: Robô Epson SCARA LS6 e descrição das suas juntas [13]

De reparar que na figura anterior, o robô LS6 se encontra totalmente distendido na horizontal, sendo que assim é considerado que o mesmo está na posição 0 das juntas 1 e 2. Na Tabela 3.1 é possível verificar as especificações para este robô.

Tabela 3.1: Especificações do robô Epson SCARA LS6-602S

Nº de Eixos	4
Carga Útil	Nom. 2 kg, Máx. 6 kg
Alcance Horizontal	600 mm
Alcance Vertical	200 mm
Alcance Orientação	+/- 360 °
Precisão de Repetição Horizontal	+/- 0,02 mm
Precisão de Repetição Vertical	+/- 0,01 mm
Precisão de Repetição Orientação	+/- 0,01 °
Intervalo de Funcionamento Máx. Eixo 1	+/- 132 °
Intervalo de Funcionamento Máx. Eixo 2	+/- 150 °
Intervalo de Funcionamento Máx. Eixo 3	200 mm
Intervalo de Funcionamento Máx. Eixo 4	+/- 360 °
Máx. Velocidade de Operação Junta 1 e 2	+/- 6800 mm/s
Máx. Velocidade de Operação Junta 3	+/- 1100 mm/s
Máx. Velocidade de Operação Junta 4	+/- 2000 °/s
Momento de Inércia Permitido	Nom. 0,01 kg*m ² Máx. 0,012 kg*m ²

O Epson SCARA proposto para a presente solução não possui um controlador incorporado na estrutura do próprio robô, ao contrário, por exemplo, do modelo SCARA T3 da mesma marca. Existe a necessidade da instalação externa do controlador para o funcionamento do robô. Então, conjuntamente com o robô é necessário adquirir o controlador, que neste caso foi o RC90, desenhado para ser usado com os robôs da família LS e recomendado pela marca (Figura 3.5).

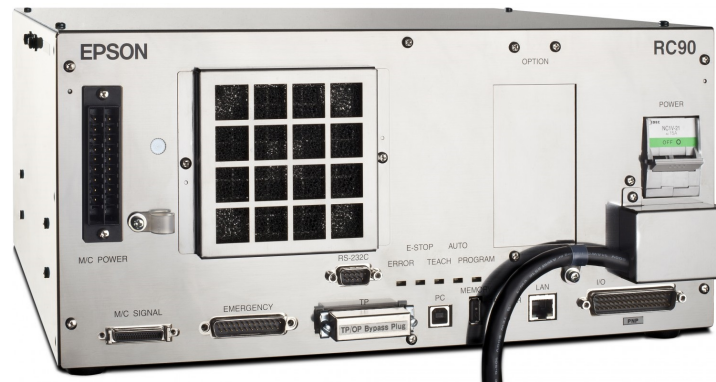


Figura 3.5: Controlador Epson RC90 para uso conjunto com o Epson LS6 [14]

Embora este controlador possua uma porta Ethernet, este não tem suporte directo para Ethernet/IP não sendo assim possível ligar à restante rede da máquina. Esta porta destina-se ao uso do protocolo TCP/IP. Esta porta pode ser usada por exemplo para ligação directa com o computador.

Para adicionar suporte à rede, é necessária a aquisição de uma expansão Ethernet/IP fornecida pela marca. Assim, através da expansão faz-se a conexão entre o controlador e o *Switch* Ethernet/IP como se vê na Figura 3.3.

A ligação entre o controlador e o robô é feita com um cabo fornecido em conjunto com o robô.

Pese embora houvesse uma recomendação do robô LS6, este apenas foi usado na função de retirar as peças do *buffer* para o prato rotativo. Tal acontecimento deveu-se ao facto de ser necessário um robô com maior alcance vertical. A caixa onde seriam introduzidas as peças, possui 280 mm de altura, o que é consideravelmente acima do que o robô consegue alcançar. Desse modo, em vez de um robô Epson LS6 foi usado um Epson G6-653S, presente na Figura 3.6. É possível ainda nesta figura verificar a numeração das suas juntas.

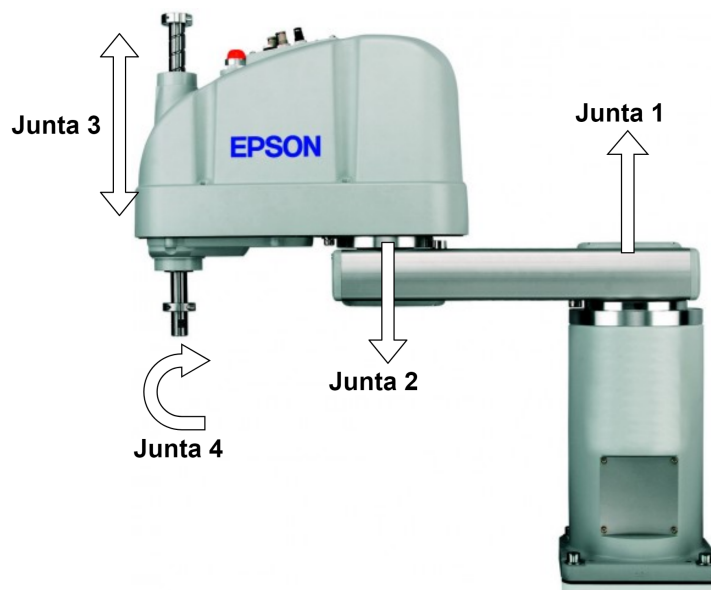


Figura 3.6: Robô Epson SCARA G6 e descrição das suas juntas [15]

O Epson G6, com a mesma capacidade de carga do LS6 (6 kg) apresenta outras características distintivas face ao LS6 além do maior alcance vertical. Este apresenta-se como sendo um robô de maior robustez e qualidade de construção. As suas especificações podem ser verificadas na Tabela 3.2.

Tabela 3.2: Especificações do robô Epson SCARA G6-653S

Nº de Eixos	4
Carga Útil	Nom. 3 kg, Máx. 6 kg
Alcance Horizontal	650 mm
Alcance Vertical	330 mm
Alcance Orientação	+/- 360 °
Precisão de Repetição Horizontal	+/- 0,015 mm
Precisão de Repetição Orientação	+/- 0,005 °
Intervalo de Funcionamento Máx. Eixo 1	+/- 152 °
Intervalo de Funcionamento Máx. Eixo 2	+/- 147,5 °
Intervalo de Funcionamento Máx. Eixo 3	330 mm
Intervalo de Funcionamento Máx. Eixo 4	+/- 360 °
Máx. Velocidade de Operação Junta 1 e 2	+/- 7900 mm/s
Máx. Velocidade de Operação Junta 3	+/- 2350 mm/s
Máx. Velocidade de Operação Junta 4	+/- 2400 °/s
Momento de Inércia Permitido	Nom. 0,01 kg*m ² Máx. 0,012 kg*m ²

Avaliando então os dados de ambos os robôs, pode-se concluir que no geral o G6-653S é superior ao LS6-602S: maior velocidade, maior alcance horizontal e vertical (o factor que levou a escolha do mesmo) e ainda maior ângulo de trabalho para a junta 1, que poderia ser uma mais valia. O único factor compensatório para o LS6 além do preço de compra é o facto da junta 2 ter um maior ângulo de trabalho, o que para a aplicação em causa não foi dada relevância. Esta diferença podia ser vantajosa numa aplicação em que se pretendesse colocar o robô numa zona muito apertada para poder diminuir a área ocupada pela rotação do braço sobre a junta 1.

Similarmente ao Epson LS6, também o G6 se faz acompanhar de um controlador para poder desempenhar o seu trabalho. No entanto o modelo RC90 usado em conjunto com o robô LS6 não é compatível com o modelo de robô G6. Então o controlador adoptado foi o RC700-A, como se pode ver na Figura 3.7, que por sua vez também não funciona com os robôs LS, não sendo possível utilizar controladores iguais para ambos os robôs.

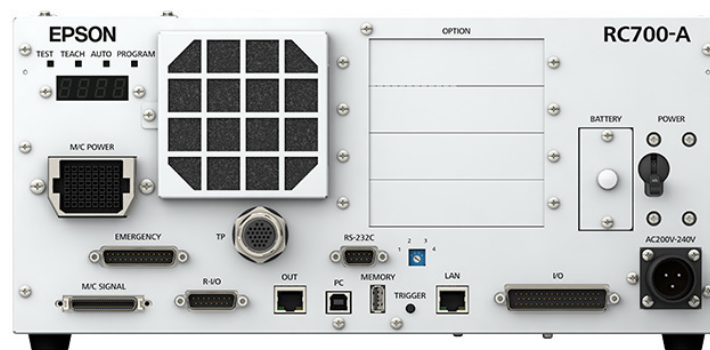


Figura 3.7: Controlador Epson RC700-A para uso conjunto com o Epson G6 [16]

Tal como no controlador RC90, também a porta Ethernet presente no RC700-A não pode ser usada para a ligação a uma rede Ethernet/IP, sendo necessária a adição de uma expansão para incorporar no controlador. Esta expansão, denominada de Ethernet/IP Slave Board pela Epson, é compatível com ambos os controladores, por isso o modelo usado nos dois controladores foi o mesmo. Desta forma, ambos os controladores podem então ligar ao *Switch* para poderem comunicar com o PLC por intermédio de uma rede.

Os robôs possuem dois cabos, sendo um de alimentação e outro de sinal. Ambos os cabos já vêm ligados internamente no lado do robô, sendo necessário efectuar a conexão nos controladores. A comunicação entre os controladores e os robôs é feita pelo cabo de comunicação.

Os controladores dos robôs possuem entradas de segurança. Uma das entradas é referente à botoneira de emergência e a outra às barreiras de segurança ou fechos

de segurança. Estas entradas distinguem-se pelo facto da primeira travar o robô e colocá-lo em estado de emergência e a segunda por colocar a execução do código em pausa.

Estas entradas do controlador não são dadas pelos equipamentos de segurança mas sim por saídas digitais do PLC de Segurança.

Para criar redundância no sistema, na verdade, o controlador possui duas entradas de cada uma das explicadas atrás. Ocorre um erro crítico se as entradas, aos pares forem diferentes por mais que dois segundos. Desta forma, caso exista falha num dos cabos por exemplo, tem sempre a salvaguarda do segundo. As entradas devem ser normalmente fechadas, pois assim garante-se que não se tem um falso positivo que podia ser criado por uma falha de sinal. Assim, ao carregar no botão de emergência ou atravessar as barreiras, o circuito fica em aberto.

3.3.2 Seguranças

Para limitar os acessos impróprios ao interior da célula enquanto esta se encontra em funcionamento, há que tomar medidas de segurança.

Em zonas desprotegidas, em que possa ser possível a inserção de membros ou de um operador entrar, são colocadas barreiras de segurança (Figura 3.8). Estas barreiras funcionam aos pares, em que uma funciona como emissora de feixe de luz e a outra como receptora. Se houver uma falha na recepção do feixe no receptor, é sinal que houve uma interrupção das barreiras, podendo ter sido uma pessoa a transpor estas.

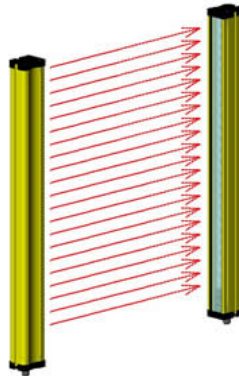


Figura 3.8: Barreiras de segurança

Ao haver uma interrupção das barreiras durante o funcionamento da célula, é sinal que algo ou alguém entrou na zona de perigo da célula. Então há que parar as partes móveis da máquina.

O mesmo princípio das barreiras se aplica aos fechos de segurança nas portas de acesso à célula. Se uma porta for aberta, há necessidade de parar o funcionamento, pois nada garante que ao ser aberta uma porta, alguém possa entrar na célula, comprometendo a sua segurança.

Os fechos de segurança, habitualmente funcionam em duas partes, em que uma das partes fica fixa na porta, e a segunda parte fica fixada no aro da porta. A porta ao fechar, existe contacto entre ambas as partes, fechando o circuito para garantir a porta em segurança.

No entanto, as barreiras e os fechos de segurança, por si só não possuem uma lógica de funcionamento, nem tão pouco possuem forma de controlo, sendo necessário um PLC de segurança para interpretar os sinais oriundos das barreiras e dos fechos de segurança e dar saídas em função da lógica programada.

No presente projecto, o PLC de segurança utilizado foi o Omron G9SP (Figura 3.9). Este controlador é o responsável pela leitura dos sinais dos equipamentos de segurança e de controlar as saídas de segurança.



Figura 3.9: PLC de segurança Omron G9SP [17]

É possível verificar na Figura 3.3, que o G9SP, irá dar as saídas de segurança para os diversos equipamentos, nomeadamente aos controladores dos robôs. Desta forma, se tiver de acontecer uma paragem de emergência o controlador pode parar os robôs e os sinais e programação de segurança ficam separados dos sinais do PLC principal.

Como foi referido no ponto 3.3.1, os dispositivos de segurança, como as barreiras, não foram conectados directamente às entradas de segurança dos robôs, mas sim às entradas do PLC G9SP. Tal razão deve-se ao facto de a célula possuir mais que uma botoneira de emergência, mais que um par de barreiras e mesmo mais que uma porta.

Assim, recorrendo ao G9SP, pode-se conjugar o sinal de todas as botoneiras de emergência, e caso falhe alguma, dão-se duas saídas do PLC de segurança para

as entradas de segurança dos controladores do robô (para criar redundância como referido atrás). O mesmo acontece para as barreiras e fechos de segurança.

Desta forma concentram-se os sinais de segurança numa só unidade (Omron G9SP) e então distribuem-se as saídas para os equipamentos que possuem entradas de segurança e é assim que existe a conjugação entre o PLC de segurança e os restantes dispositivos.

Conforme foi feita uma lógica no PLC para os controladores dos robôs, foi feito de forma similar para os restantes equipamentos da máquina, tal como, os controladores dos motores presentes.

3.3.3 PLC

O PLC desempenha um papel fundamental no funcionamento da máquina. É nele onde a lógica central é programada e onde este gere a maioria da informação obtida pelos diversos meios presentes na máquina, e toma acções em torno dessa informação.

No sistema presente, este comunica com os controladores dos robôs através da rede Ethernet/IP. Então para tal o PLC também é conectado ao *Switch* por intermédio da sua porta Ethernet/IP.

No projecto, o PLC adoptado foi o Omron CJ2M (Figura 3.10), este também pedido no caderno de encargos. No presente documento não será descrito o desenvolvimento efectuado em torno do PLC, pois este foi feito por colegas dentro da empresa.



Figura 3.10: PLC Omron CJ2M [18]

O PLC utilizado, comunica com os controladores dos robôs através da troca dos valores de variáveis que o PLC terá acesso dos robôs.

Algumas das funções que este dispositivo controla do robô serão as prioridades de acesso dos robôs a zonas comuns assim como a ordem de buscar peças. A forma da interacção será descrita mais à frente deste documento.

3.3.4 Outros Equipamentos

Na Figura 3.3 é possível verificar outros equipamentos que não foram mencionados. Entre eles o sistema de visão, o Hioki, os detectores, motores e a rede Ethernet/IP.

O sistema de visão, da marca Keyence será programado em parte por uma empresa externa, neste caso, a mesma empresa que comercializa o sistema de visão, em conjunto com um funcionário da WRK. Os detectores, o Hioki e os motores serão programados pelo mesmo responsável que efectuará a programação do PLC e do sistema de visão assim como a construção da rede Ethernet/IP. Como tal ao longo do documento apenas serão mencionados para efeitos de ajuda à compreensão da forma como foram programados os robôs e o sistema de segurança.

A rede Ethernet/IP foi feita com recurso a dois *Switches* Ethernet/IP da marca Phoenix Contact, sendo que todos os equipamentos que usam esta rede eram interligados através destes mesmos *Switches*.

3.4 A Solução Desenvolvida

Na secção actual será demonstrado a forma final da célula e como será o seu fluxo, para de seguida de forma mais simples se mostrar o desenvolvimento feito nos robôs Epson SCARA presentes na máquina, assim como o trabalho feito a nível de segurança da célula.

Dada a natureza do projecto em que existem movimentos da máquina, existe uma forte ligação entre a componente mecânica e eléctrica da máquina. Como tal foi necessário ao longo do desenvolvimento existir uma comunicação activa entre os responsáveis de projecto mecânico e de automação para encontrar as melhores soluções para cada caso.

3.4.1 Resultado Final

O departamento de projecto mecânico da empresa WRK, dedicou-se, entre outros, também ao projecto da estrutura da máquina onde serão suportados todos os equipamentos da máquina, respeitando o pedido do cliente do projecto.

Na Figura 3.11 é possível ver uma imagem do formato final da máquina projectada pela WRK, sendo esta a vista de cima. De notar que a figura se encontra com partes delimitadas com rectângulos de diferentes cores. A mesma figura com dimensão maior pode ser encontrada no Anexo A.

Este conjunto apresentado será o que integrará a planta da célula do cliente que se viu na Figura 3.1. Pode ainda verificar-se que se conseguiu obter um resultado final próximo do que o cliente pretendia ao nível de disposição dos diferentes postos no entanto existem algumas diferenças, principalmente na disposição do

buffer e dos robôs, para que se conseguisse ter melhor organização das áreas de trabalho que são comuns a mais que um robô e que não interfiram entre si.

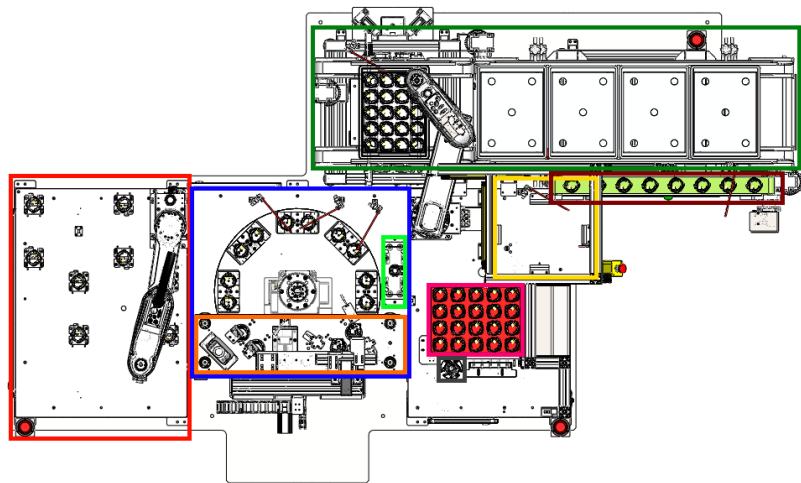


Figura 3.11: Vista de cima da máquina projectada pela WRK

Na zona inferior, do lado esquerdo, existe uma área delimitada por um retângulo vermelho. Esta área é o *buffer* de entrada. Será aqui onde o robô que retira as peças da máquina de injeção deixará ficar as peças com a sua mão presa. Esta zona deverá encontrar-se desimpedida quer de peças quer pelo robô Epson SCARA LS6 para que possa pousar as peças em segurança. Na figura é possível verificar ainda a presença do robô LS6 nesta área. Pode-se ver o *buffer* de forma mais pormenorizada na Figura 3.12.

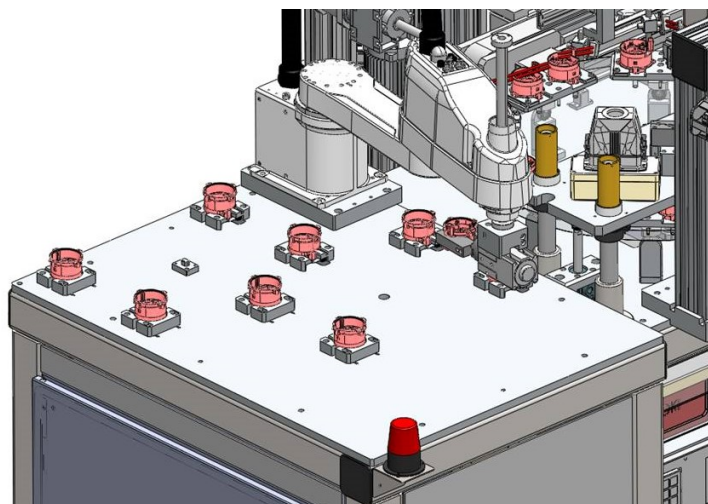


Figura 3.12: Vista pormenorizada do *buffer* de entrada

O *buffer* possui 8 ninhos para receber peças, sendo que recebe as 8 de uma só vez. Cada um dos ninhos possui um detector para garantir que a peça se encontra pousada no ninho correctamente. A tarefa do robô LS6 também visível na Figura 3.12 será fazer o esvaziamento das peças presentes neste *buffer* para o prato rotativo.

Delimitado a azul, ao lado do *buffer*, na Figura 3.11 encontra-se o prato rotativo. Este prato possui 8 posições onde cada uma tem ninho para 2 peças, sendo que no máximo o prato pode ter 16 peças. O prato possui detectores nos ninhos de entrada, ou seja, nos ninhos onde o robô LS6 pousará as peças.

Desde que as peças são colocadas na entrada, até chegarem ao local de retirada, o prato necessita de rodar 7 vezes. Após o prato rodar 3 vezes, o conjunto de peças da entrada efectuará o primeiro teste. No total, existem 3 postos de testes que serão efectuados ao fim de 3, 4 e 5 rotações desde a entrada. A área de testes, trata-se de um tampo que baixa sempre que vai efectuar os testes dos três postos, e ao terminar os testes levanta para que o prato rotativo possa rodar. Este tampo está representado na Figura 3.11 na área a laranja, dentro da área azul. Esta zona da máquina que possui alguma importância na programação dos robôs será um factor limitativo na sua deslocação, dado que se encontra ao alcance do braço e poder haver colisões.

Ainda dentro da área limitada a azul, existe também uma outra área de menor dimensão delimitada a verde claro. Nesta posição ficará armazenada uma das ferramentas que o robô G6 utilizará. O robô G6 necessita de duas ferramentas distintas pois fará o transporte de material de diferente tipo e diferente forma, neste caso será a peça que é testada e paletizada e os separadores de camadas que são colocados nas caixas. Nesta área encontra-se então o ninho da peça utilizada para fazer o transporte dos separadores.

Na área delimitada a rosa, encontra-se a caixa para onde serão colocadas as peças que reprovem nos testes efectuados. As peças colocadas nesta caixa, peças NOK, terão como futuro o reaproveitamento do material para reduzir à quantidade de desperdício. Quando a caixa se encontrar cheia, terá de ser retirada e colocada uma nova por um operador.

Muito próximo da zona a rosa, logo abaixo, encontra-se um pequeno ninho delimitado a cinza. Similarmente ao que foi descrito para a zona a verde claro, este também é um ninho para uma ferramenta do robô. A ferramenta que será aqui colocada é a ferramenta de garra, que servirá para pegar nas peças e é aqui colocada enquanto o robô utilizar a ferramenta de transporte de separadores.

Acima da zona a rosa, encontra-se delimitado a amarelo o *buffer* de separadores. Este *buffer* será repostado por um operador e será onde o robô G6 irá buscar os separadores para separar as camadas nas caixas. Existem neste *buffer*

barreiras de segurança para evitar o acesso simultâneo por um operador e pelo robô.

A castanho encontra-se rodeado o tapete de peças de ciclo de controlo. Este ciclo deve ser pedido pelo operador, e o que acontece é que 8 peças sequenciais, em vez de serem paletizadas nas caixas correspondentes, são deslocadas para este tapete. A razão da utilização do tapete serve para o operador controlar as peças visualmente e garantir que todo o sistema está a funcionar em pleno. Pode também verificar problemas de injeção que a solução WRK não esteja preparada para verificar, como propriedades do plástico injectado. As peças deslocadas para esse tapete são sequenciais, para se garantir que existe uma peça injectada em cada uma das cavidades do molde, que são 8. Na Figura 3.13 é possível ver o processo do robô G6 a fazer a colocação de uma peça no tapete de ciclo de controlo, neste caso, a oitava peça.

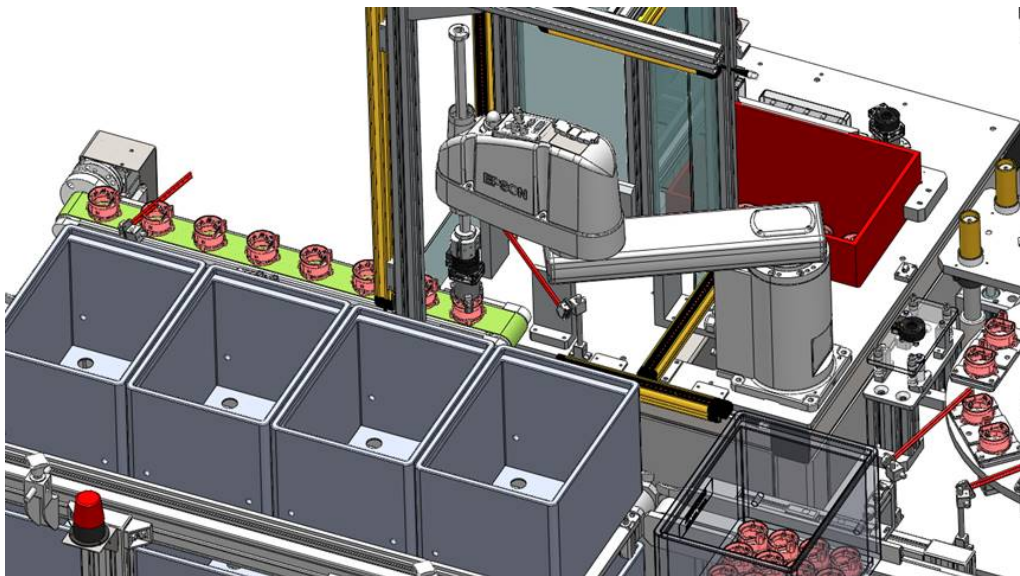


Figura 3.13: Tapete do ciclo de controlo

Por fim, a zona a verde, é a zona do transportador de caixas OK. Na zona superior do transportador, o operador colocará caixas vazias, que por intermédio do tapete chegam à zona de paletização (onde se pode ver na figura uma caixa com peças). Estando a caixa cheia, uma plataforma onde se encontra a caixa cheia desce, e esta é transportada em sentido contrário até ao operador, para este a retirar do transportador.

Capítulo 4

Robôs

No capítulo actual serão descritos os progressos feitos com os robôs Epson SCARA, quer ao nível físico como da sua parametrização. Será feita inicialmente uma descrição das ferramentas de ambos os robôs no início do capítulo, para que no 5 seja de mais fácil compreensão as explicações do código desenvolvido para os robôs.

4.1 Ferramentas

Os robôs embora sejam máquinas poderosas, sem uma ferramenta apropriada, não possuem utilidade. Como tal, houve necessidade de desenvolver ferramentas para ambos os robôs poderem manipular as cargas que transportavam da forma mais conveniente, ficando esta função, entre outras, a cargo do departamento de projecto mecânico da empresa WRK.

Para o robô Epson LS6, existe a necessidade de ter uma pinça capaz de pegar e transportar as peças do *buffer* de entrada até ao prato rotativo. No entanto existe um ponto a notar: a peça, não é colocada no prato com a mesma orientação com que é pegada no *buffer*. Existem também restrições ao pegar na peça dadas pelo cliente. Como a peça a ser inspeccionada possui zonas interiores que vão ser testadas e verificadas ao longo do ciclo de funcionamento, não se pode pegar na peça pela zona interna pois pode danificar a mesma. Então, sabendo que a peça teria de ser agarrada pelo exterior e teria de existir uma rotação de 180 ° da peça sobre o seu próprio eixo horizontal, foi desenvolvida uma ferramenta para cumprir estes requisitos.

Como resultado final, obteve-se uma ferramenta, com funcionamento pneumático, em que existe um cilindro rotativo da marca SMC ao qual está acoplada a pinça. Este ao rodar, roda também a pinça que agarrará a peça, 180 °. A pinça por sua vez, é aberta ou fechada conforme a ordem dada à eletroválvula

correspondente a essa mesma pinça e irá segurar a peça pela sua lateral. Na Figura 4.1 é possível verificar o robô LS6 a pegar numa peça do *buffer* de entrada.

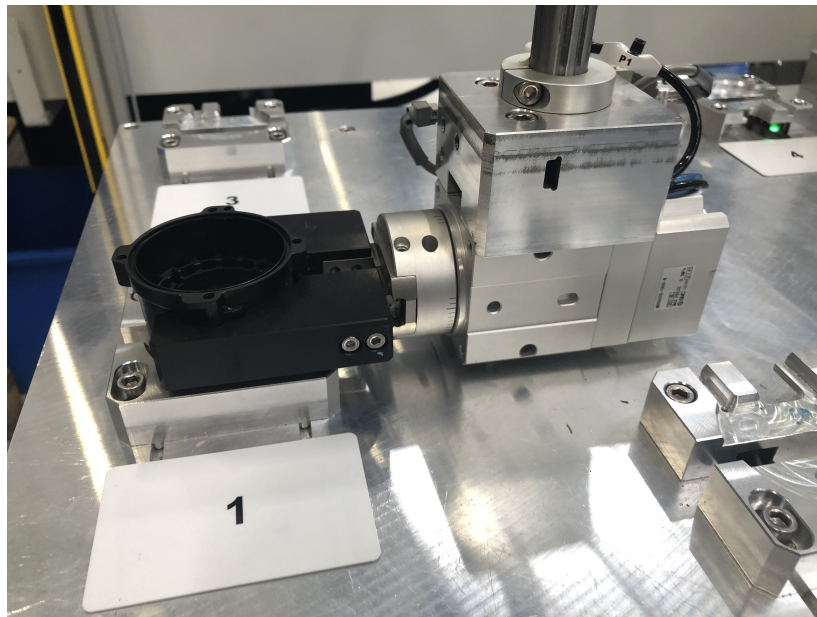


Figura 4.1: Robô Epson LS6 a pegar peça do *buffer* de entrada

A razão de existir uma rotação da peça, deve-se ao facto de o robô KUKA que descarrega o molde, ao pousar a peça no *buffer*, deixar estas com os conectores que a peça possui, orientados para baixo, mas, no entanto, para testar a peça na máquina é mais simples com esta orientada para cima devido a questões mecânicas. Mesmo que não fosse um problema para os testes, seria para a paletização, pois pelo formato da peça, não seria possível pousar na caixa com a orientação original. De forma então a facilitar todo o processo, a rotação da peça é toda feita logo na retirada do *buffer* de entrada.

Para informação do robô, o cilindro rotativo possui detectores para saber a sua posição, assim como a pinça também possui sinais de aberto e fechado. Estes sinais são enviados ao PLC e replicados para o robô.

À saída de peças do prato rotativo tem-se o robô G6. Este também terá uma ferramenta para pegar nas peças, mas com uma particularidade. Ao contrário de ser uma pinça de dois dedos e de pegar a peça de forma lateral como o robô LS6, a ferramenta terá três dedos e pegará na peça pela parte superior, ficando o veio do robô centrado com o centro da peça. Na Figura 4.2 é possível verificar as posições de retirada de peças do prato, marcado a azul, assim como as posições onde o robô de entrada deixa as peças, demarcado a laranja.

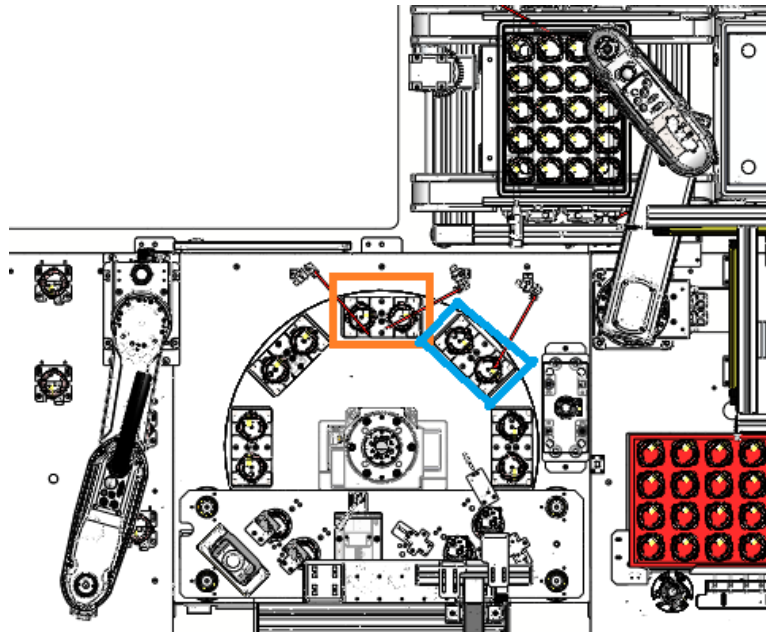


Figura 4.2: Representação a laranja dos ninhos de colocação de peças no prato e a azul dos ninhos onde o robô Epson SCARA G6 retirará as peças

Na Figura 4.3 é possível verificar a ferramenta descrita do robô G6. Na figura a ferramenta já se encontra trabalhada para um menor diâmetro, a pegar numa peça, do ninho esquerdo. Define-se o ninho como esquerdo ou direito, olhando do centro do prato em direcção aos ninhos.



Figura 4.3: Epson G6 a pegar peça do ninho esquerdo com a sua garra

Em relação à pinça, esta também possui sinal de aberta ou fechada, mas com uma particularidade. Existe um sinal com a pinça toda aberta, sabendo-se que não possui peça e existe outro sinal de pinça fechada quando se encontra com peça. No entanto a pinça quando tem uma peça não fecha na sua totalidade, pois fica a ser forçada contra a peça. Então, quando a pinça se encontra fechada sem peça, o curso de movimento será maior. Sabendo isto, o detector de pinça fechada foi afinado para que se obtenha sinal com a pinça fechada com peça e caso não se tenha qualquer sinal dessa pinça, sabe-se que a mesma se encontra fechada mas sem peça.

A mesma funcionalidade não se verifica na pinça do robô LS6, pois este irá retirar peças nos ninhos que possuem detectores, que ao deixarem de detectar sabe-se que o robô pegou com sucesso numa peça. Por sua vez o prato rotativo, nas posições de entrada possui detectores também, garantindo que as peças chegaram ao prato.

No entanto, o robô de saída também terá de pegar em separadores para dividir as diferentes camadas da caixa e com uma pinça seria impossível de pegar nestes, sendo necessária uma segunda ferramenta que pegará nos separadores recorrendo ao vácuo. Assim, sabe-se que terá de se fazer uma troca de ferramenta para que todo o processo possa ser concluído.

No robô G6 para poder haver troca de ferramenta, foi usado um sistema de troca de ferramenta da marca Schunk. Este sistema funciona acoplado ao veio do robô uma peça apropriada que possui esferas e as ferramentas utilizam outra peça que prende à peça do lado do robô. Para ser possível o atracamento da ferramenta, tem de ser ejetado ar na peça do lado do robô para que as esferas tranquem e a ferramenta fique presa. Existem mecanismos de segurança para que mesmo que o ar falhe, a ferramenta não fique solta.

É possível passar pelo sistema de troca de ferramenta linhas de ar. Para o caso da pinça é necessário para fazer a abertura e o fecho. No entanto, como também se possui sinais eléctricos na pinça, neste caso dos detectores de posição da pinça, também foi colocada junto de cada parte do sistema de troca de ferramenta uma caixa de contactos. Assim, a ferramenta ao encaixar no veio do robô faz contacto com a caixa existente no lado do robô que por sua vez irá ligar ao PLC.

Na Figura 4.4 é possível ver o sistema de troca de ferramenta, com vários tubos que provêm do quadro pneumático. A ferramenta de garra encontra-se no seu ninho onde fica enquanto que o robô utiliza a ferramenta de ir buscar separadores. A caixa branca que se encontra quer no veio, quer na ferramenta, é a caixa de contactos descrita atrás. De notar que na parte superior da ferramenta, existem orifícios, por onde passará o ar após ficar a ferramenta encaixada e ainda duas cavilhas para garantir o centramento da ferramenta ao encaixar. Na ferramenta é

possível ainda verificar a presença de um tubo azul e um tubo preto para efectuar a abertura e fecho da pinça.



Figura 4.4: Robô Epson G6 a efectuar a troca de ferramenta

A ferramenta para pegar nos separadores trabalha com recurso ao vácuo e ao sopro de ar. Esta ferramenta possui ventosas que fazem a sucção de ar conseguindo assim pegar num separador. Para libertar o separador, a válvula de ar deixará de fazer sucção e libertará ar para que deixe de existir vácuo no sistema e o separador fique solto. Para ser garantido que se possui um separador, a eletroválvula responsável por criar vácuo, quando estiver efectivamente a fazer vácuo emite um sinal para o PLC. Para ter vácuo é necessário que o sistema se encontre fechado, sendo necessário para tal que o separador se encontre nas ventosas da ferramenta.

Na Figura 4.5 pode-se observar a ferramenta a fazer sucção de um separador. De reparar a existência de tubos de ar a ligarem a cada uma das ventosas para ser possível fazer vácuo assim como soprar para soltar o separador.

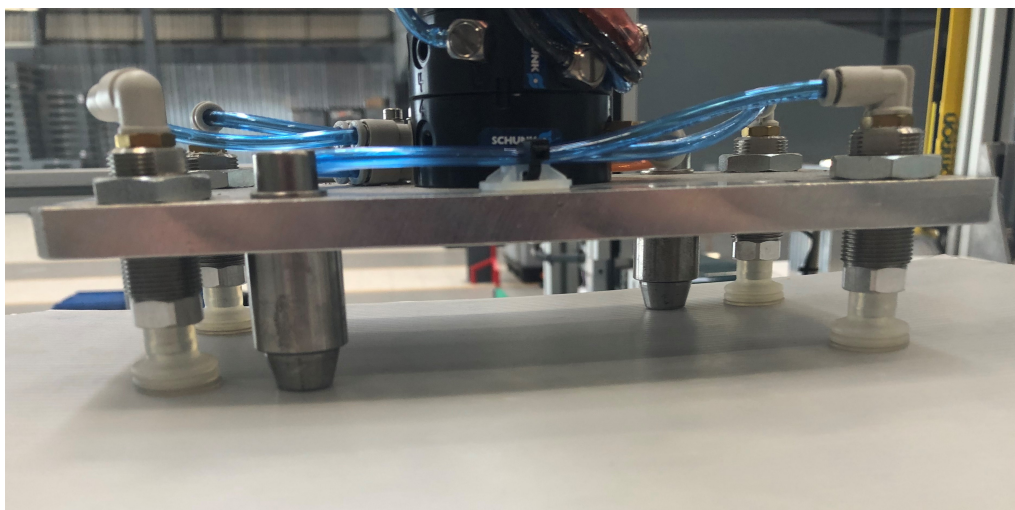


Figura 4.5: Ferramenta de transporte de separadores, a fazer vácuo contra um separador

Por vezes os resultados obtidos por simulação diferem do mundo real por existirem outras condicionantes que nem sempre são tidas em conta no seu desenvolvimento. Este acontecimento foi verificado com esta pinça do robô G6. No *software* de *Computer-Aided Design* (CAD) verificava-se que era possível inserir a peça com a primeira versão da ferramenta. Mas, na verdade, nos testes iniciais, existia alguma dificuldade em inserir as peças, que ficavam próximas às paredes da caixa, pois existiam diversos tubos de ar, nomeadamente para abrir e fechar a pinça, atracar a ferramenta e de vácuo para segurar os separadores. Estes tubos eram ligados ao sistema de troca de ferramenta com recurso a racordes da marca SMC.

Numa primeira abordagem ao problema foram substituídos os racordes, que inicialmente eram de encaixe fácil, iguais aos que são visíveis na Figura 4.5 a ligar os tubos de ar às ventosas, por modelos de mais baixo perfil, que se podem observar na Figura 4.4, tendo sido possível reduzir cerca de 18 mm ao diâmetro da ferramenta.

Após a redução ao diâmetro da ferramenta, continuava-se a verificar que a garra ao abrir tocava nas paredes da caixa, causando vibrações na mesma que podiam provocar deslocação das peças. Este problema era devido ao facto das caixas serem de plástico, que com o tempo ficam deformadas causando uma curvatura nas paredes, diminuindo internamente a área da mesma.

Então houve necessidade de redesenhar as garras da ferramenta para que ao serem abertas o diâmetro das mesmas fosse menor. Na Figura 4.6 encontra-se à esquerda a ferramenta com a primeira versão das garras montadas em que é

possível verificar que com a garra aberta, esta se encontra com bastante margem até às paredes da peça. Na figura da direita, encontra-se a ferramenta com a pinça novamente aberta com a nova versão das garras, em que a margem para a peça é mais curta e exige precisão no ponto de pegar na peça para que não bata com a pinça nesta. Desta forma, com uma ferramenta de diâmetro mais encurtado face à original, conseguiu-se fazer a paletização das peças sem tocar nas paredes da caixa.

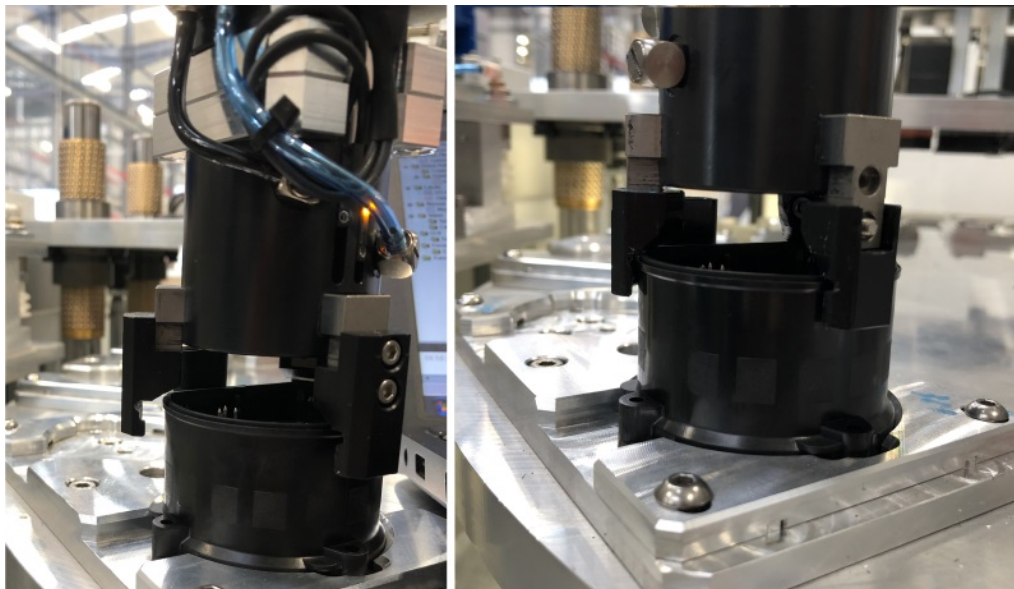


Figura 4.6: Comparação das duas versões das garras da ferramenta

Outros aspectos relacionados com a alteração das garras serão mencionados mais à frente neste documento derivado a terem causado alterações na programação.

4.2 Movimentos

Sendo o conjunto de robôs similares entre eles ao nível de movimentos e programação, também o tipo de movimentos a executar por estes será similar. Existem quatro tipos de movimentos que foram os utilizados durante a programação, e para que quando forem mencionados seja de mais fácil compreensão, serão agora descritos.

Um dos movimentos é o do tipo *Move*. Este movimento faz a deslocação do robô entre a sua posição no momento da execução do movimento, até um ponto, ponto este que é passado como parâmetro ao executar o código de chamada de movimento. O *Move* tem como principal característica que o movimento será

feito de forma linear fazendo interpolação dos eixos. Este movimento pode ser extremamente útil quando se pretende ter um controlo mais preciso do movimento do robô para passar por exemplo em zonas estreias. No entanto, a deslocação da ferramenta do robô será mais lenta face a outros tipos de movimentos. Tal deve-se ao facto de que todos os eixos devem mover-se de forma precisa para que o movimento seja feito de forma linear.

Outro movimento, que se procurou usar em vez do movimento do tipo *Move*, foi o movimento *Go*. Similarmente ao movimento do tipo *Move* também este fará a deslocação do robô face à sua posição actual até a um ponto definido, com a particularidade que o movimento será feito usando a velocidade dos eixos e aceleração de forma mais optimizada, resultando num movimento mais rápido.

Em contrapartida, o movimento pode fazer um efeito de "curva", dado que diferentes eixos, movimentarão diferentes distâncias a diferentes velocidades, pois no caso de um eixo que efectue um movimento curto, certamente não atingirá a velocidade máxima para que está configurado. Em aplicações que exijam mais velocidade e não seja requerido que o movimento seja preciso, dá-se prioridade a este movimento.

O movimento *Jump* tem um comportamento parecido com o movimento *Go*, no entanto, tem uma diferença. Antes de efectuar o movimento, o robô subirá o seu eixo Z até ao limite máximo superior (também é possível limitar a subida até um ponto específico) efectuará o movimento com o eixo subido até ao ponto de destino, e apenas ao atingir o ponto de destino descera o seu eixo Z até a ferramenta ficar no ponto de destino pedido.

Na Figura 4.7 está representado a vermelho, o movimento que um robô faria ao se deslocar entre o ponto A e B com um movimento *Move*, assim como a laranja se encontra representado a mesma deslocação com movimento do tipo *Jump*.

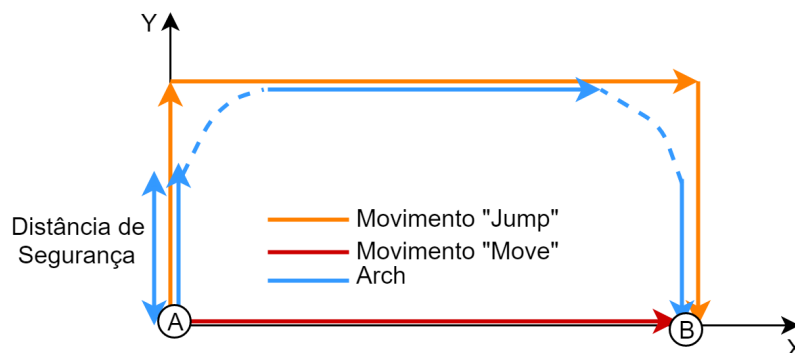


Figura 4.7: Comparação de movimentos entre *Jump* e *Move* e exemplo de uso da função *Arch*

A somar ao movimento do tipo *Jump* pode ser usada a função *Arch*. Esta função, para ser usada é dada uma distância de segurança para a subida do eixo em Z e outra distância para a descida (podem ser iguais). Então, o robô, ao fazer a subida do eixo, após atingir a distância de segurança, iniciará o seu movimento horizontal, acabando de fazer a subida em Z já após iniciar a deslocação horizontal. Este exemplo também pode ser visto, representado a azul, na Figura 4.7. Com esta implementação, segundo o fornecedor, é possível reduzir o tempo de movimentos em até 30 %.

Outra função auxiliar que pode ser usada é o "CP". Este parâmetro é passado em cada linha de código que se pretenda usar a sua função, e o que acontecerá é que a linha de código seguinte é executada antes de terminar a linha onde foi aplicado o "CP". Se for usada num movimento, e a linha de código seguinte for também um movimento, o robô antes de chegar ao ponto de destino do primeiro movimento, começará a deslocar-se para o ponto do segundo movimento. A vantagem prende-se em que o robô, ao chegar ao ponto de destino do primeiro movimento, iria desacelerar até parar e então no movimento seguinte iria iniciar o movimento parado mas com o "CP" essa desaceleração e aceleração vai desaparecer, continuando com a velocidade constante. Pode ser usada em casos que se pretende efectuar um movimento entre dois pontos, mas a forçar o robô a passar por um ponto intermédio sem perder velocidade.

Por fim existem movimentos do tipo *Arc* e *Arc3*. Estes movimentos efectuam a deslocação entre dois pontos, passando por um ponto intermédio definido pelo utilizador e o movimento é efectuado de forma circular. A diferença entre os dois, é que o primeiro executa o movimento circular no plano horizontal, enquanto que a segunda função, executa de forma tridimensional.

4.3 Procedimentos Gerais

Embora os dois robôs utilizados sejam de gamas diferentes assim como os seus controladores, existem processos iniciais que são similares entre ambos que serão aqui apresentados.

Mesmo que ambos os controladores possuam uma porta Ethernet, esta apenas pode ser utilizada para TCP/IP, no entanto como foi referido atrás, para contornar este problema e a comunicação dos robôs ser feita recorrendo a Ethernet/IP, foi instalada uma expansão adicional para cada controlador.

A placa em causa para ser instalada, requer que a caixa do controlador seja aberta e é ligada directamente na *board* do controlador. Na caixa do controlador existe uma janela tapada por uma tampa que deve ser removida para aceder à porta *Ethernet*. Por fim deve-se fechar novamente a caixa do controlador, ficando

apenas a janela aberta para a porta Ethernet da placa de expansão. A forma como a placa é instalada no controlador é transversal a ambos os modelos.

Para a comunicação entre o controladores e os robôs assim como a alimentação dos robôs, foram utilizados os cabos fornecidos com os robôs e que já vêm ligados internamente no robô, sendo apenas necessário fazer a ligação à ficha correspondente no controlador do robô. Foi ainda ligado ao controlador o sinal dos botões de emergência da célula assim como das barreiras de segurança.

Os controladores possuem dois tipos de entradas de segurança. Uma das entradas é para botoneiras de emergência e a outra para portas de segurança. Estas provocam comportamentos distintos nos controladores. No caso de uma botoneira de emergência ser premida, provocará que os eixos dos robôs irão travar para imobilizar os movimentos o mais rápido possível e o código no controlador será parado de executar. No caso de ser aberta uma porta da célula, o robô irá desacelerar até parar (é rápido a parar, mas mais lento que no caso de se premir o botão de emergência), e o código ficará em pausa até ser fechada a porta novamente e ser dado o sinal ao controlador para continuar a executar o código.

Os contactos dos equipamentos de segurança são normalmente fechados. No controlador irá se receber os sinais de segurança com o nível lógico zero, quando existe uma anomalia ao nível de segurança da célula. A vantagem prende-se que no caso de falhar a comunicação do equipamento de segurança com o robô, o zero poderia ser interpretado como estando tudo bem, ou seja portas fechadas e botoneiras de emergência não premidas. Assim caso o sinal falhe, também os robôs param de funcionar.

No caso destes robôs, como na célula existe mais que um botão de emergência e mais que um par de barreiras, e os equipamentos de segurança existentes têm de parar mais equipamentos além dos robôs, é usado então um PLC de segurança. Às entradas dos controladores para as barreiras e botões de emergência é ligado na verdade as saídas digitais do PLC de segurança. Este por sua vez irá conjugar os sinais de segurança para poder fazer a gestão de quando dar ou não os sinais de segurança aos controladores dos robôs.

Estando os robôs montados na máquina e as ligações feitas, começou-se por efectuar as configurações iniciais. Para tal foi necessário efectuar a instalação do *Software RC+ 7.3.3* da Epson (Figura 4.8), fornecido com os robôs, no computador utilizado para parametrizar, controlar e programar os robôs. Embora o robô já possuísse a placa de rede instalada e ligada ao *switch*, o controlador ainda não se encontrava configurado. Então, para uma primeira ligação entre o computador e o controlador, foi usada a porta USB que já vem disponível nos controladores.

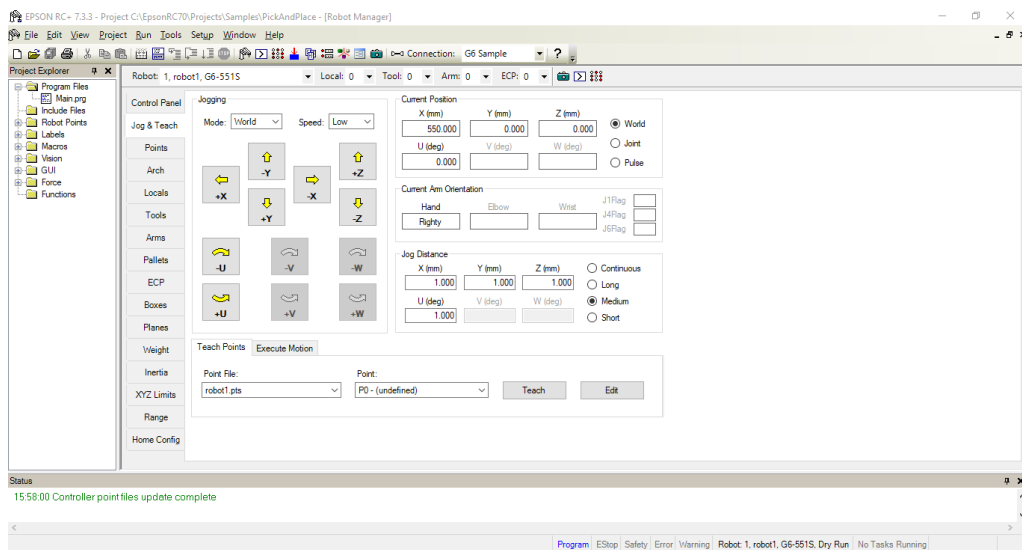


Figura 4.8: *Software RC+ 7.3.3* da Epson para programação do controlador do robô

Após se efectuar a conexão, com os controladores, o primeiro passo foi fazer um *backup* do mesmo, para em qualquer altura, principalmente nas fases iniciais de teste, caso fosse preciso repor o mesmo para o seu estado original, o poder fazer. Para tal, seguindo-se as instruções do fabricante, foi inserida uma *Pen USB* na porta disponível nos controladores, e carregou-se no botão de "*Trigger*" presente nos controladores para iniciar a transferência do *backup* para a *Pen*. Alternativamente, o *software* permite fazer o *backup* directamente para o computador sem necessidade de usar o *Pen Drive*.

Então, de seguida, foram atribuídos endereços *Internet Protocol (IP)* aos controladores para poderem funcionar e ser controlados através da rede *Ethernet/IP*. Desta forma, com o computador conectado com apenas um cabo de rede ao *Switch* conseguia-se aceder a ambos os controladores em vez de se ter um cabo USB para cada controlador. Para tal, foi necessário então atribuir em endereço de rede a cada controlador. A atribuição é feita nas configurações do controlador, no *software* Epson RC+ 7.3.3. Ao controlador RC90 foi atribuído o endereço 10.10.10.130 e ao controlador RC700 foi atribuído o 10.10.10.131. Na Figura 4.9 é possível ver a página para atribuir o IP aos controladores.

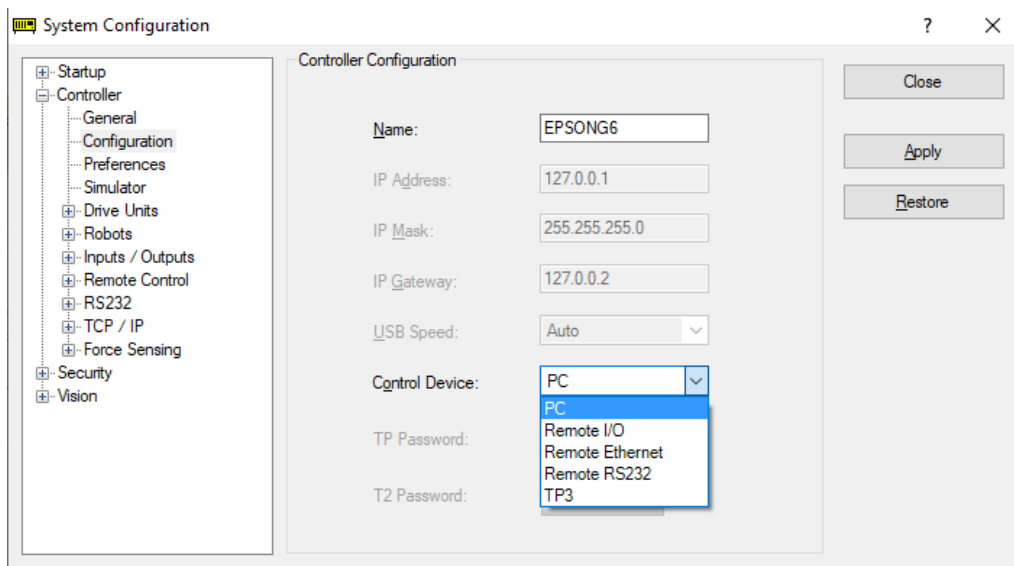


Figura 4.9: Página para atribuição do endereço IP ao controlador

Numa fase inicial de programação, o "Control Device" foi definido como sendo "PC" e mais tarde foi alterado para "Remote I/O" quando o controlo começou a ser feito pelo PLC.

Para que os controladores pudessem trocar sinais com o PLC tinham entradas e saídas digitais com o PLC. Estas entradas e saídas são encontradas e adicionadas no campo "Fieldbus Slave I/O" dos controladores. O controlador possui já algumas entradas e saídas pré definidas. Em relação às entradas já existentes e que foram utilizadas, foram a *Start* para dar início à execução do código, o *Stop* para parar todo o processo do robô, o *Pause* que provoca uma interrupção temporária no robô até que seja accionado o *Continue*, o *Reset* para limpar os erros do controlador, o *SetMotorsOn* e *SetMotorsOff* que como indica liga e desliga os motores dos eixos, e por fim o *SetPowerHigh* e o *SetPowerLow* para colocar os eixos com potência alta ou baixa.

Em relação às saídas foram usadas as *Ready*, *Running*, *Paused* e *Error*, para dar informação sobre o controlador ao PLC.

Ao escrever e ler estas entradas e saídas era possível efectuar a troca de informação com o PLC. A configuração da rede para troca de informação foi efectuada recorrendo ao *Software Network Configurator*. Não serão demonstrados desenvolvimentos feitos nesta área pois os mesmos foram efectuados por um colega dentro da empresa.

Era com esta troca de informação que se recebia ordens de arranque, informação para iniciar um ciclo de controlo, informações sobre detectores e barreiras ou qualquer outro tipo de informação proveniente de fora do robô. O contrário

também acontecia, ou seja sempre que se queria passar uma informação ao PLC como por exemplo a *box* em que se encontra o robô ou um pedido para abrir garra, atracar e soltar ferramenta, ou mesmo accionar o vácuo, era este o método utilizado.

Uma característica necessária para concluir as configurações do controlador e robô, é a correta caracterização das ferramentas. Existem vários parâmetros a definir para estas, como a excentricidade e a inércia. Na Figura 4.10 é possível verificar a página de configuração do *software* onde são inseridos os parâmetros "Load Inertia" e "Eccentricity".

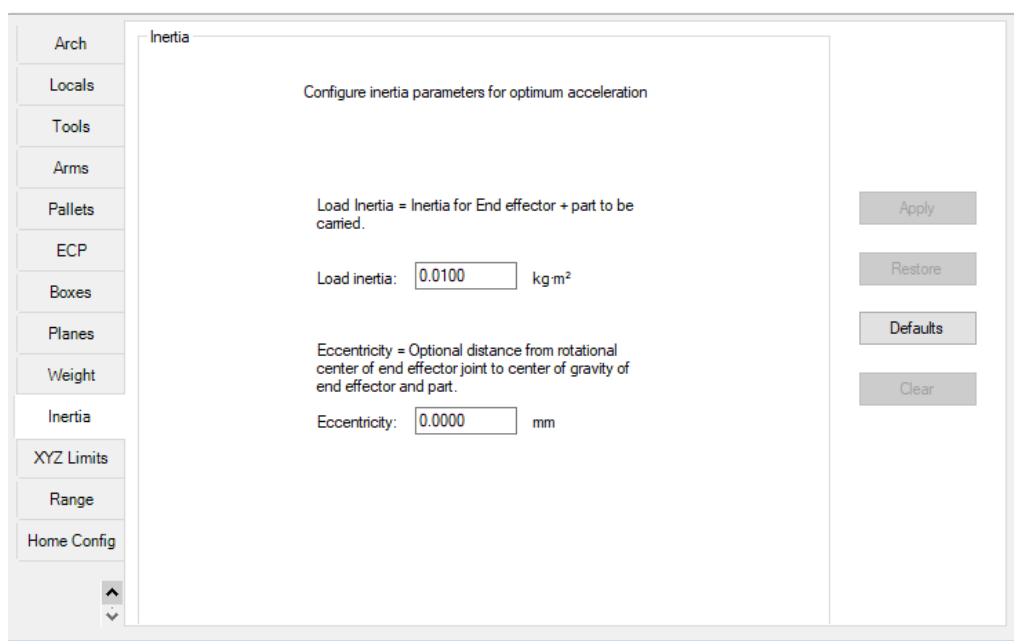


Figura 4.10: Página para definição da excentricidade e inércia, no *software* Epsilon RC+

O primeiro parâmetro, *Load Inertia*, trata-se do somatório da inércia da ferramenta do robô, em conjunto com a peça a ser carregada. Para o cálculo deste parâmetro, como a ferramenta do robô Epsilon SCARA G6 tem formato cilíndrico, recorreu-se à fórmula de cálculo da inércia para um cilindro (equação (4.1)) para obter o valor. A massa do conjunto da ferramenta, encaixe da Schunk e peça (0,060 kg) é de 0,992 kg e o raio da ferramenta foi considerado de 0,0345 m (medida obtida através do desenho de CAD e confirmado com paquímetro). O raio considerado foi o da ferramenta e não o da peça que é mais larga que a ferramenta, dado que a ferramenta também se deslocará sem peça e a massa da peça apenas representa cerca de 6 % da massa total.

$$\begin{aligned}
 I_{cilindro} &= \frac{1}{2}mR^2 = \\
 &= \frac{1}{2} * 0,992 * 0,0345^2 = \\
 &= 0,000590 \text{ kg m}^2
 \end{aligned} \tag{4.1}$$

No caso da ferramenta de pegar separadores, como se tem um bloco com forma de paralelepípedo, considerou-se a fórmula para o cálculo da inércia para esta forma (equação (4.2)), dada pela soma dos lados perpendiculares ao eixo de rotação ao quadrado, multiplicados por um doze avos da sua massa. A massa considerada foi de 1,033 kg para a ferramenta, conjunto de encaixe e separador. A massa do separador é de 0,055 kg.

$$\begin{aligned}
 I_{paralelepipedo} &= \frac{1}{12}m(a^2 + b^2) = \\
 &= \frac{1}{12} * 1,033 * (0,2^2 + 0,1^2) = \\
 &= 0,004304 \text{ kg m}^2
 \end{aligned} \tag{4.2}$$

Para o robô LS6, existe uma diferença face ao G6. Como não existe troca de ferramenta no robô, a sua inércia pode ser inserida na página mostrada na Figura 4.10, mas, como no robô G6 existe troca de ferramenta, este parâmetro tem de ser alterado. Este quando bem configurado, permite ao robô fazer compensações de acelerações e velocidades internamente para evitar um mau funcionamento ou movimentos inesperados.

Como no robô LS6 a ferramenta não se encontra centrada com o centro do robô, foi necessário encontrar inicialmente o centro de massa da ferramenta. Tem-se centrado com o eixo do robô o cilindro rotativo da SMC que representa uma grande percentagem da massa do corpo da ferramenta, mas temos ainda a garra e a peça quando é transportada, desviadas do centro de massa.

Sabendo que a massa do cilindro é de 1,038 kg, a massa do bloco de encaixe do cilindro é de 0,390 kg, a massa das garras é de 0,090 kg, da peça é de 0,060 kg e ainda que a distância do centro de massa ao centro da garra, onde se assumiu que fosse o seu centro de massa, é de 110,8 mm, calculou-se o novo centro de massa como é mostrado na equação (4.3). Foi tido em conta que apenas existe uma deslocação horizontal do centro de massa da garra e peça face ao centro de massa do cilindro rotativo.

$$\begin{aligned}
 X_{cm} &= \frac{m_{garra+peca}}{m_{garra+peca} + m_{cilindro}} * d = \\
 &= \frac{0,150}{0,150 + 1,428} * 0,110 = \\
 &= 0,010 \text{ m}
 \end{aligned} \tag{4.3}$$

Assim sendo já se sabe que o centro de massa do conjunto ficará deslocado 0,010 m do eixo de rotação do conjunto. Era expectável que ficasse muito próximo dada a diferença de massas entre o cilindro rotativo e o conjunto da garra com a peça.

Tendo o centro de massa, recorreu-se novamente à fórmula da inércia para um paralelepípedo, pois é a forma que mais se aproxima do conjunto, considerando-se a massa total de toda a ferramenta (equação (4.4)).

$$\begin{aligned} I_{\text{paralelepipedo}} &= \frac{1}{12}m(a^2 + b^2) = \\ &= \frac{1}{12} * 1,578 * (0,221^2 + 0,821^2) = \\ &= 0,095058 \text{ kg m}^2 \end{aligned} \quad (4.4)$$

Por fim, recorrendo ao teorema dos eixos paralelos, faz-se o cálculo da inércia final, como demonstrado na equação (4.5).

$$\begin{aligned} I_{\text{Final}} &= I_{\text{cm}} + m * d^2 = \\ &= 0,095058 + 1,578 * 0,010^2 = \\ &= 0,095216 \text{ kg m}^2 \end{aligned} \quad (4.5)$$

Como se pode verificar, como a distância do centro de massa de todo o conjunto para o centro de massa do cilindro rotativo é pequena, também a variação na inércia é pequena.

Ao longo do desenvolvimento foram feitas alterações aos parâmetros da inércia para tentar perceber até onde se conseguia verificar alterações no comportamento do robô, e a não ser que se aumentasse em muito o valor (>1000 %) não se verificavam alterações ou perdas de desempenho, pelo que se acredita que este parâmetro mesmo que no cálculo exista algum erro, não prejudique significativamente o desempenho do robô.

Quando as ferramentas foram desenhadas foi feito um esforço para que estas ficassem centradas com o veio do robô como se pode verificar nas ferramentas do robô G6. Embora o aspecto da ferramenta do robô LS6 transmita a sensação de estar deslocada esta encontra-se com o centro de massa alinhado com o centro do veio. Então o parâmetro da excentricidade foi deixado a zero para ambos os robôs.

Existem ainda dois parâmetros que foram necessários definir, que foram a massa da ferramenta e da peça e a distância da junta dos robôs até ao centro de massa do robô. Quanto ao segundo, foi deixado o valor que vinha definido originalmente, pois o centro de massa das ferramentas manteve-se inalterado.

Para a calibração da ferramenta foi utilizado o utilitário do *software* RC+ 7.3.3 e uma ferramenta auxiliar às ferramentas dos robôs. Para o robô LS6, foi utilizada a ferramenta visível na Figura 4.11 para calibrar a garra.

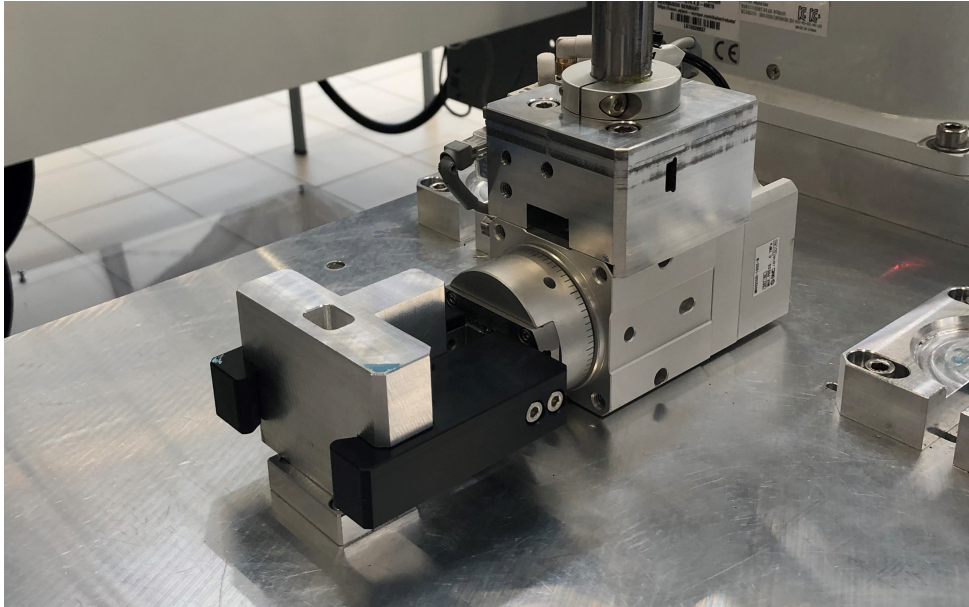


Figura 4.11: Ferramenta suplementar para calibração da ferramenta do robô LS6

No *buffer* de entrada de peças na máquina, existe uma peça fixa que encaixa na ferramenta auxiliar de calibração do robô. Então após se colocar esta ferramenta de calibração na garra do robô LS6, foi executado o auxiliar para calibração da ferramenta.

No *wizard* do *software*, para calibração do ponto, é necessário definir dois pontos. Então, é pedido que se leve o robô até um ponto exacto. Para maior precisão, o ponto que se usará, é o robô com a ferramenta de calibração da garra e a ferramenta de calibração encaixada na peça que se encontra no *buffer*. Na segunda fase, é pedido que se leve a garra ao mesmo ponto mas com uma rotação diferente de U. Então, rodou-se a ferramenta 180 °, e levou-se a ser encaixada novamente na peça do tampo. Como o encaixe da ferramenta de calibração no tampo tem formato rectangular, esta só encaixa em múltiplos de 180 °.

Originalmente, o controlador considera a ferramenta centrada no centro do veio. Com a calibração, o controlador passará a considerar a ferramenta no centro da garra, devido à ferramenta de calibração que se utilizou, se encontrar centrada com o centro da garra.

No robô G6 foi feita a calibração de forma similar ao robô LS6. Utilizou-se uma ferramenta similar à do LS6, mas de formato redondo para que fosse possível

pegar nela com a ferramenta de três dedos.

Após se ter feito a calibração da ferramenta no G6, apercebeu-se que existia um erro associado à calibração ao se observar o simulador. A ferramenta de garra foi desenvolvida de forma a ser centrada com o veio do robô, mas dado que existem uma série de componentes acoplados verticalmente, poderia existir um pequeno desvio horizontal. No entanto a calibração da ferramenta por si só poderia introduzir ainda mais erros. Então, assumiu-se que não se faria calibração da ferramenta e que esta se encontrava centrada com o veio, e descartou-se a calibração da garra.

O mesmo aconteceu com a ferramenta de pegar separadores. Esta ferramenta, embora não seja circular, também o centro desta se encontra alinhado com o centro do veio do robô. Ao contrário da garra, na ferramenta dos separadores não existe uma exigência tão grande na sua precisão, pois como os separadores são amplos, podem ser pegados em qualquer parte, só sendo necessário dar atenção na posição de os colocar nas caixas para que entrem sem embater na lateral da caixa. Por sua vez, os separadores possuem alguma folga face às dimensões da caixa, pelo que é admissível algum erro.

Na garra, como foi referido na Secção 4.1, existe uma exigência face à sua exactidão a pegar nas peças, pois existe uma margem muito pequena entre as pinças da garra e as peças. Ao longo dos inúmeros testes, nunca se verificou qualquer problema em se estar a usar a garra sem calibração de ferramenta.

Já no robô LS6, houve necessidade de calibração da ferramenta, dado que a pinça se encontrava descentrada horizontalmente do veio do robô.

De salientar ainda que no robô G6, embora não houvesse calibração, sabe-se que o controlador assumirá o centro da ferramenta mais subida em Z, coincidente com o extremo inferior do eixo vertical, mas, no entanto, o centro da ferramenta encontrar-se-à mais descido verticalmente (eixo Z). Porém, a marcação de pontos foi sempre feita de forma manual, ou seja levando o robô à posição pretendida e registando o ponto, ficando então o robô na posição que se pretendia.

Uma outra opção que poderia ser útil e foi descartada foi a criação de sistemas de referência locais. Ao se criar um local, pode-se definir os pontos do robô em relação a esse local em vez do centro da base do robô. Esta função é útil principalmente quando fisicamente existe uma rotação ou movimentação do robô face aos pontos. Caso isso aconteça e o local definido se mantenha numa posição constante face aos pontos, após se mover o robô apenas será necessário ensinar-lhe o local de referência e não todos os pontos.

No entanto, neste projecto tal não aconteceu, pois os robôs encontram-se cavilhados na mesma estrutura que os restantes pontos. Ou seja, como os robôs se encontram numa posição fixa face aos pontos, se existir movimentação, existe no conjunto todo, não alterando a posição do robô face aos pontos.

4.4 Robô Epson SCARA LS6

Tendo o controlador do robô configurado e pronto a ser utilizado, considerou-se por bem criar as *boxes*. Estas, mais não são que áreas identificadas para o robô que podem ser utilizadas para saber em que zonas o robô se encontra, e com esta informação redirecioná-lo ou tomar acções de segurança.

No caso do robô LS6, este irá ocupar áreas que podem ser comuns ao robô KUKA que trará peças para o *buffer* de entrada assim como áreas em comum com o robô G6, nomeadamente o prato rotativo. Então uma das *boxes* a ser definida foi no *buffer* de entrada para ter a certeza que não se encontrava numa área em comum com o robô KUKA. O robô considera o centro da sua ferramenta para considerar se se encontra dentro ou fora das áreas. Para as definições das *boxes* foi utilizado o utilitário do *software* em uso para programação do robô. Para a formação das *boxes* foi considerado que estas estavam marcadas em relação à origem, ou seja do eixo representado na Figura 4.12. Estes eixos são os que o robô considera por omissão.

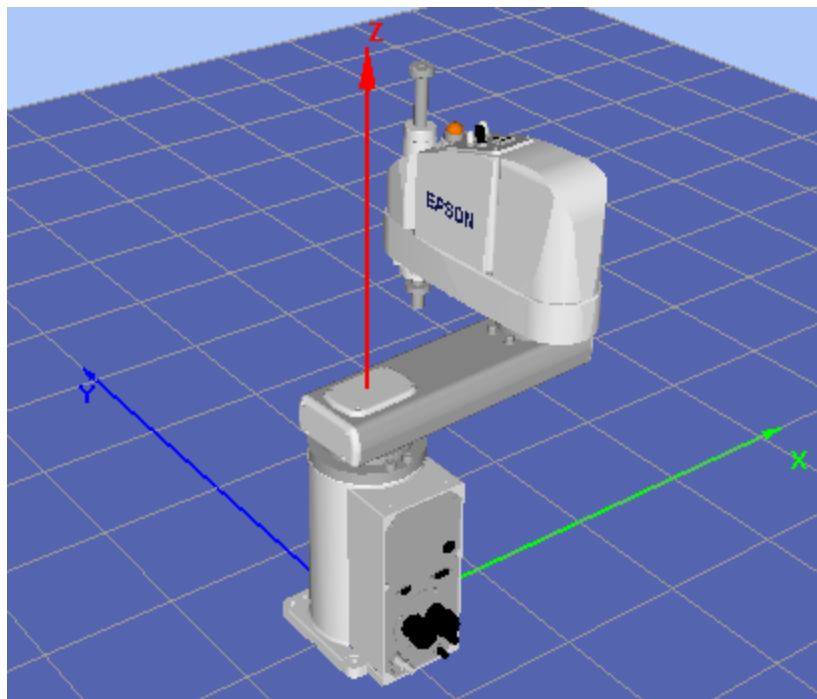


Figura 4.12: Representação dos eixos considerados pelo robô em relação à sua origem

Para a definição das *boxes* foi usado o referencial descrito atrás e para o início da definição das *boxes* tem de se inicialmente escolher qual o número de caixa que se pretende definir sendo que cada robô pode ter até 15 *boxes*. De seguida é

necessário dar ao controlador 2 pontos distintos para a criação da *box*. Na Figura 4.13 é possível verificar os pontos que o robô aguarda. O primeiro ponto necessário ensinar trata-se do ponto onde se marca a zona mais baixa verticalmente, e com menores valores de coordenadas X e Y. O segundo ponto é exactamente o oposto, ou seja é o ponto onde as coordenadas X, Y e Z são mais altos.

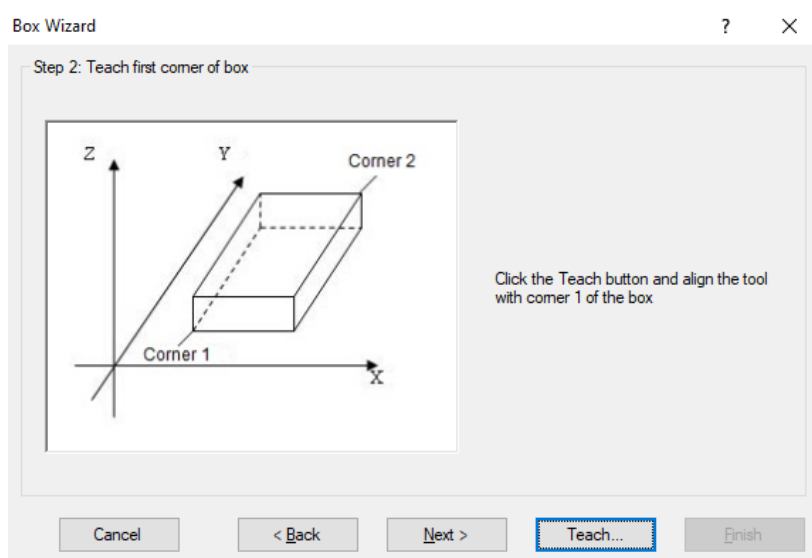


Figura 4.13: Definição dos pontos para a criação da *box*

O controlador permite configurar uma saída identificativa de que o robô se encontra ou não dentro da *box* definida. Esta saída pode ser ou não invertida. Neste caso, a saída é colocada com o nível lógico um quando o robô se encontra dentro da caixa e a zero caso se encontre fora ou então o contrário, que foi o caso usado neste projecto. Sempre que o robô se encontra dentro da caixa, o sinal representativo encontra-se com o nível lógico zero, e encontrando-se fora da caixa, encontra-se com o nível um. Esta definição é feita aquando da criação da caixa também, sendo o último ponto questionado pelo *wizard* para concluir a definição. Esta saída pode ser usada para informação do PLC.

Este foi também um dos requisitos do cliente final, pois, sendo a programação do robô KUKA responsabilidade deste, preferiam que o robô encontrando-se na mesma área que o Kuka pode invadir, o sinal fosse colocado a zero, evitando que, tal como já foi explicado, um sinal lógico zero numa falha na comunicação fosse interpretado como o robô estando fora da área, avançando o Kuka e causando uma colisão que poderia resultar numa destruição de material de valor avultado.

Ainda dentro do programa da Epson é possível monitorizar e controlar as saídas do controlador assim como verificar as suas entradas. As *boxes* depois de definidas, permitem alterar os seus pontos individualmente. Então, para um

ajuste mais fino das *boxes*, os eixos do robô eram movidos manualmente enquanto se verificava quando este entrava/saía de cada área que se estava a afinar e se necessário fazia-se um ajuste.

Outra *box* definida foi na área do calcador do prato. Assim caso o robô se aproxime demasiado deste calcador, o robô parará para evitar uma colisão. Uma das características que se manteve na definição de todas as *boxes*, foi que, todas foram criadas olhando para as colisões do ponto de vista do plano XY (horizontal), descartando o eixo vertical. Tal deve-se ao facto de que o robô se vai movimentar sobre o plano XY e apenas tem variações de Z aquando do pouso ou pega das peças. Sempre que existe movimento dos eixos, o eixo Z era subido à cota máxima permitida pelo *hardware*. Então na definição das *boxes*, era dado um valor de Z mínimo e máximo grande, que se tivesse a certeza que o robô nunca conseguiria sair, para evitar que o robô se encontrasse naquela área mas que tal não fosse considerado por causa da altura a que se encontrava a ferramenta.

Os sinais das *boxes* são enviados ao PLC, que por sua vez envia o sinal ao PLC de segurança e este activa a saída de emergência para o robô, parando-o desta forma.

Foram definidas mais duas *boxes*, ambas na zona do prato rotativo. Uma delas, é para garantir que se encontra numa zona de segurança para o robô Kuka poder avançar para o *buffer*. Foi marcada tendo em conta que o LS6 se encontrava fora da zona comum com o Kuka e que não tinha nenhuma parte da sua estrutura a obstruir o tampo. Pois caso o robô se encontrasse com a orientação de braço direito, era possível ter por exemplo a junta 2 dentro do *buffer* mas a ferramenta fora, tendo o sinal a representar que este se encontrava fora mas na verdade com a sua estrutura a obstruir uma zona onde é possível haver colisões.

A segunda *box* criada sobre o prato foi feita para evitar colisões com o robô G6. Uma zona onde há a possibilidade de haver colisão é na zona de pouso de peças no prato rotativo, quando o robô de saída pode andar também a executar operações na zona do prato, como por exemplo a retirar peças em simultâneo que o robô de entrada se encontra a colocar.

Esta *box* foi criada em simultâneo com outra no robô LS6, para que caso ambos entrem nessa área em simultâneo, o PLC de segurança desactiva as entradas de emergência dos controladores e ambos os robôs param.

Com as *boxes* criadas no LS6, responsável por fazer a retirada de peças do *buffer* e transportá-las até ao prato, tem pontos que desde início, mesmo antes de começar a desenvolver o código, se sabe que serão necessárias.

Alguns desses pontos, são os de pegar as peças do *buffer*. Então começou-se por esses exactos pontos. Para tal, foram colocados os eixos do robô em modo livre e de seguida retiraram-se os tubos de entrada de ar da garra. Desta forma

podia-se controlar a abertura e o fecho da garra assim como o movimento dos eixos do robô de forma manual.

Para retirar os pontos, colocaram-se as peças nos ninhos, conduziu-se o robô manualmente até a ferramenta ficar alinhada com a peça e fechava-se manualmente a garra de forma suave para ver se o fecho não influenciava com a posição da peça. Assim garantia-se que se pegava na peça de forma suave sem forçar. Ao encontrar uma posição correcta para cada peça, era guardado esse ponto.

Após se ter registado os pontos para cada peça individualmente, retiraram-se também pontos de aproximação, que mais não são que o mesmo ponto retirado antes, mas com o eixo de Z subido à cota máxima. O robô, possui um movimento do tipo "Jump" que o que faz, é que antes de efectuar qualquer movimento, sobe o eixo Z, move-se até ao ponto de destino com o eixo subido e só no fim baixa até ao ponto pretendido. Ao usar este movimento, torna-se dispensável o uso das posições de aproximação, mas para efeitos de testes e desenvolvimento estas mostraram-se úteis para estudar os movimentos.

Tendo os pontos para o *buffer* retiraram-se os dois pontos onde o robô pousará as peças no prato rotativo. A forma usada foi a mesma das peças da entrada assim como mais uma vez se registaram pontos de aproximação.

Ao longo do desenvolvimento do *software* do robô foram criados outros pontos auxiliares para criar a trajectória do robô que serão explicados mais à frente.

4.5 Robô Epson SCARA G6

De forma similar ao robô Epson SCARA LS6, também no robô G6 se criaram *boxes* de segurança. A metodologia usada para a criação foi a mesma para ambos os robôs.

Neste robô começou-se por se criar as *boxes* para o tampo, similar à criada para o LS6. De notar que é dado um *offset* ao criar esta *box* para que o robô possa parar ao aproximar-se desta área, antes de colidir. Se fosse criada à mesma cota a que se encontra o tampo, não daria tempo de o controlador entrar em emergência e parar o robô antes deste colidir.

A segunda *box* criada foi na zona do prato, que como já foi explicado, será a *box* em que não se pode encontrar em simultâneo ambos os robôs para evitar colisões.

Por fim foram criadas mais três *boxes*. Uma na zona da caixa de peças NOK, outra no tapete transportador de caixas vazias e ainda outra na zona dos separadores. Estas *boxes* ao contrário das anteriores não possuem funções de segurança, mas sim de informação para se poder localizar o robô.

Existia um problema que não se pretendia resolver recorrendo às *boxes*. O robô quando se encontrasse com a ferramenta de pegar separadores, iria movimentar-se por quase toda a área útil do robô: iria à zona de pegar separadores, percorreria a área do tapete transportador para poder trazer os separadores, passaria por cima da caixa OK para colocar nesta o separador, passaria em cima do prato com a ferramenta quer para levar separadores para a caixa NOK quer para deixar a ferramenta e ainda teria de ir até à caixa NOK para colocar os separadores.

O mesmo não acontece ao usar a ferramenta de garra. Embora esta percorresse também quase todas as mesmas áreas que a ferramenta de transportar separadores, não necessitava nem podia ir à zona de pegar separadores. Tal razão prende-se pelo facto de que o robô não tem altura suficiente para que a garra passe sem colidir com as partes laterais da caixa do *buffer* de separadores.

Não se pretendia utilizar as *boxes* como segurança para este caso, pois o robô também precisava de ir com a garra a uma zona muito próxima dos separadores que era ao tapete do ciclo de controlo.

A solução que foi imaginada seria uma função a ser executada em paralelo, a fazer constantemente a verificação da posição do robô. No entanto reparou-se que seria possível configurar uma saída do controlador, denominada de "*User Output*". Foi criada então uma saída e configurou-se para que, se em algum momento o robô se encontrasse com a ferramenta de garra, não tivesse ordem para ir colocar peças para o tapete de ciclo de controlo e ultrapassasse a área além da caixa OK em direcção aos separadores, a saída passaria a assumir o estado lógico zero. Em normal funcionamento, a saída encontra-se a um.

Desta forma, mesmo que o robô não esteja a executar o seu código, está sempre a ser monitorizado o caso anterior, evitando que por erros de programação se fosse com a ferramenta errada buscar separadores.

Para se saber se o robô se encontrava para além da caixa OK, colocou-se duas condições. Com o robô a braço direito, verificaram-se quais eram os ângulos máximos das juntas um e dois para que a ferramenta não passasse além da caixa OK. O mesmo foi feito com o robô orientado como braço esquerdo. Desta forma garantia-se que não haveria problema a paletizar as peças na caixa, pois a ferramenta não passaria do limite da caixa.

Esta saída configurável era então enviada ao PLC que por sua vez enviava ao PLC de segurança que faria o robô entrar em emergência no caso de uma falha.

Com as *boxes* criadas e como se pretendiam fazer testes de paletização com o robô Epson SCARA G6, era necessário que este transportasse peças, com a mesma orientação com que viria a transportar quando o projecto se encontrasse pronto. Então começaram-se por se guardar os dois pontos de onde o robô iria pegar as peças do prato, ou seja, do ninho esquerdo e do ninho direito. Sempre

que se pretendia colocar uma peça na garra do robô, colocava-se a peça num dos ninhos e mandava-se o robô a essa posição buscar a peça, para que se trabalhasse da forma mais real possível.

Além das posições de pegar peças no prato, criaram-se novamente posições de aproximação, assim como se fez no robô de entrada.

Foi registado também um ponto, à entrada da caixa OK. Este ponto foi usado como referência ao longo do projecto e sempre que se pretendia efectuar a transição da ferramenta do robô do prato rotativo para a zona da caixa OK ou do *buffer* dos separadores. O motivo de criar o ponto é que, ao fazer um movimento do tipo "Go", o robô poderia criar uma trajectória que entrasse na área que se encontra o robô LS6. Este movimento do robô era visível quando se mandava a garra para o *buffer* dos separadores e para algumas posições de largar peças na caixa. Assim, ao fazer o robô passar por aquele ponto, força-se que o movimento seja mais linear, sem usar a instrução de movimento "Move", que é mais lenta que a "Go". Na Figura 4.14 é possível ver a azul o local da definição do ponto, e a laranja, uma possível trajectória do robô. Embora fosse definido um sistema de segurança para evitar que os robôs ocupassem a mesma área em simultâneo, pretendia-se evitar ao máximo que tal pudesse acontecer.

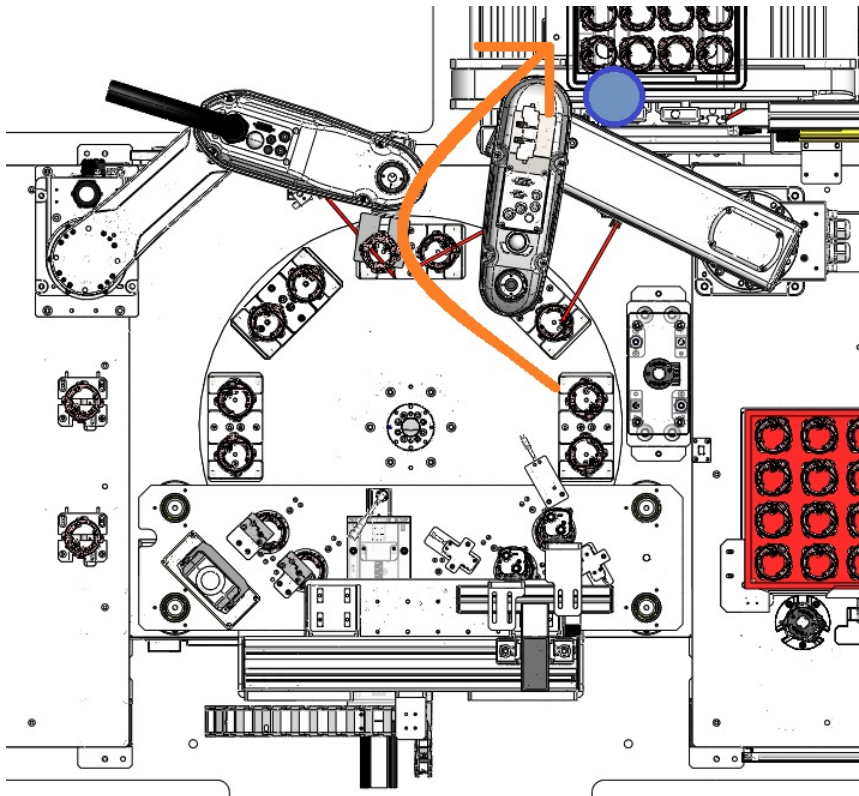


Figura 4.14: Ponto criado à entrada da caixa OK

Então, como já referido, uma das principais capacidades que se tinha mais curiosidade face aos robôs e se pretendia implementar era a paletização das peças nas caixas. Era pedido pelo cliente que fossem paletizadas as peças OK e NOK em diferentes caixas, mas, no entanto, o tempo de ciclo era outro factor importante para o cliente. Por momentos, considerou-se apenas fazer a paletização de peças OK, enquanto que as peças NOK, como serão para destruir, seriam apenas largadas na caixa. Embora desta forma se ganhasse tempo de ciclo quer no pouso de peças, quer na falta de necessidade de troca de ferramentas para colocação de separadores, iria-se criar dois novos problemas.

Um deles é que as peças como não ficariam organizadas na caixa, acabariam encasteladas provocando que cada caixa armazenasse menos peças do que se fosse feita a paletização, obrigando o operador a intervir mais vezes para as trocas de caixa. Outro problema é que não se sabia ao certo quando a caixa estaria cheia. Pois conforme as peças caíssem, podia uma caixa ficar cheia até cima com 80 peças e a caixa seguinte ao final de 60 peças já ter a altura das peças superior aos limites superiores da caixa. Desta forma, descartou-se essa hipótese e fez-se a paletização de ambas as caixas, sendo que o cliente como não acreditava ter uma grande percentagem de peças NOK, não iria causar um impacto grande no tempo de ciclo.

Numa primeira tentativa de programação da paletização, utilizou-se a ferramenta do *software* da Epson. Para criar a paleta, o utilizador é questionado sobre a quantidade de linhas e colunas que vão existir. Neste caso, como se pretendia que a caixa tivesse 4 linhas de 5 peças, definiu-se que existiriam 5 colunas e 4 linhas (Figura 4.15). Também é necessário escolher o número da paleta que se pretende criar (o controlador permite criar até 16), e foi escolhido que se seleccionaria 3 pontos para criar a paletização. Seguidamente o utilizador deve conduzir o robô até três pontos como demonstrado na Figura 4.16 e fazer ensinamento dos pontos. Assim o controlador, sabendo os três pontos referentes à caixa, consegue calcular os limites desta. Sabendo também quantas peças terá a caixa, criará iguais espaçamentos entre peças para acomodar as 20 peças por camada.

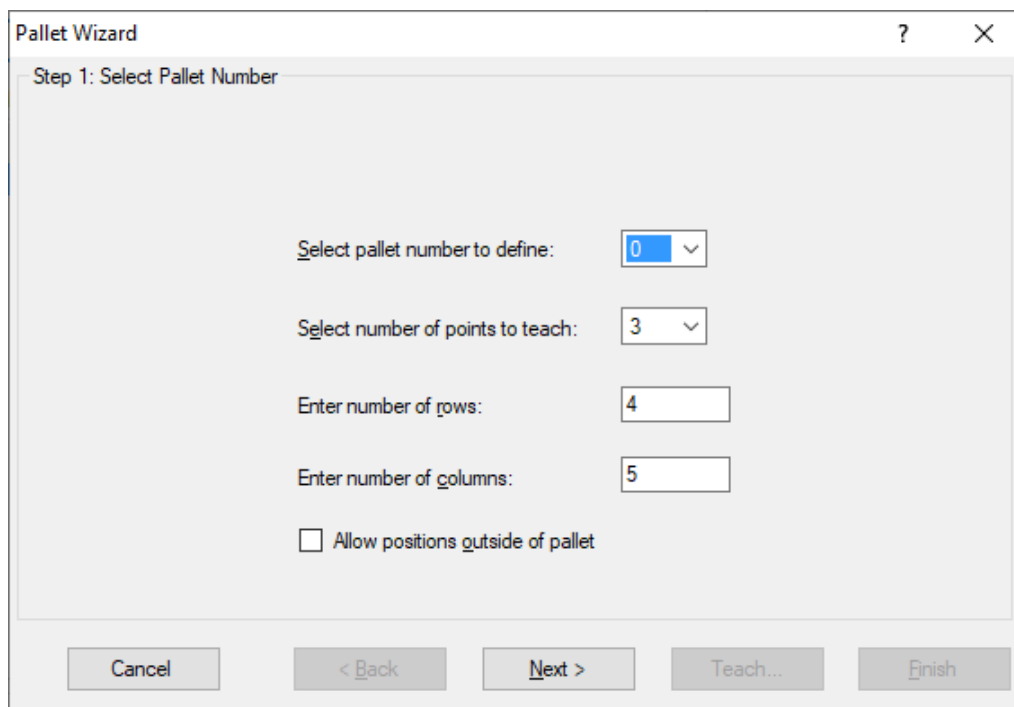


Figura 4.15: Caracterização da paletização

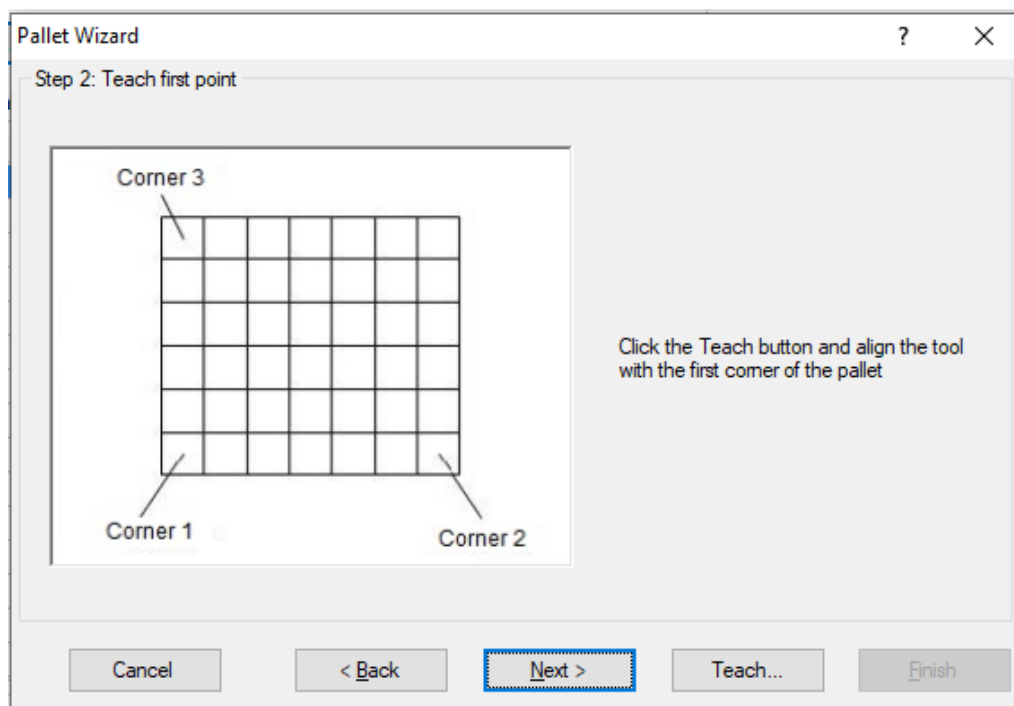


Figura 4.16: Marcação dos pontos correspondentes aos cantos da caixa

No entanto, como já foi referido antes, existiram problemas a paletizar numa primeira fase. O robô colidia com as laterais da caixa e por vezes embatia com as peças que já se encontravam na caixa. No início, erroneamente, acreditou-se que a ferramenta de paletização oferecida pelo programa da Epson tivesse erros não cumprindo com a sua função fazendo com que se optasse por marcar os pontos à mão. Ao longo desta tarefa, que se mostrava penosa, dada a quantidade de pontos a retirar para paletização (e que se corria o risco de ter de ser refeito várias vezes principalmente nos momentos iniciais de testes) iniciou-se o desenvolvimento de uma função, similar à ferramenta do Epson, para cálculo dos pontos.

Tal desenvolvimento não chegou a ser cumprido, pois, ao fazer a marcação de todas as peças reparava-se que dada a forma da garra não seria possível paletizar as peças todas com a mesma orientação. Foi aqui que se tomou a decisão de reduzir à área da garra e testar novamente a ferramenta da Epson, que com uma área menor de ferramenta cumpriu correctamente a sua função, ficando as peças igualmente espaçadas entre si e sem o robô colidir ou encostar em qualquer sitio.

Assim tinha-se o robô a paletizar uma camada das caixas, no entanto teriam de existir 5 camadas. Uma das formas era criar uma paletização para cada camada, no entanto, como as peças ficariam alinhadas verticalmente, não se viu necessidade de tal e optou-se por paletizar as diferentes camadas referentes à primeira, tendo de ser feito apenas um *offset* no eixo vertical do robô em relação à posição da primeira camada, de medida igual à do somatório da altura da peça com a altura de um separador.

Para verificar o *offset* que se teria de dar, fez-se em modo automático a paletização de uma camada, colocou-se um separador e com os eixos do robô livres, levou-se manualmente a pousar uma peça à altura que se encontraria a segunda camada. Verificou-se a sua posição em Z e fez-se a diferença entre essa altura e a altura das posições das peças da primeira camada. Viu-se então que a diferença seria de 52 mm.

Então, para paletizar na segunda camada, mandava-se o robô para a posição que se pretendia da paleta criada para a camada um, mas com o *offset* de 52 mm. Na terceira camada, na verdade, o *offset* seria duas vezes maior que na segunda camada, então, somava-se no plano vertical 104 mm e assim sucessivamente para as restantes camadas.

Alternativamente como referido poderia criar-se uma paleta por cada camada, mas não foi encontrada nenhuma vantagem para fazer com que se fizesse tal procedimento a não ser um maior controlo a cada camada. Neste caso específico não havia utilidade, mas poderia haver caso existisse uma inclinação na caixa, ou se se pretendesse as peças com orientação diferente a cada camada.

Todos os testes foram feitos na caixa das peças OK para se chegar à melhor forma de paletizar as peças e por fim para a caixa NOK replicou-se apenas o

processo.

Assim, tendo-se o processo de paletização pronto, e até porque se pretendia verificar todo o sistema a funcionar desde a colocação da primeira peça até à última da caixa, com o robô a colocar os separadores, retiraram-se os pontos de pouso/pegar as ferramentas. Ambas as ferramentas possuem mecanismos para garantir que se encontra pousada no ninho da forma correta. A ferramenta de pegar nos separadores, embora seja simétrica e encaixe no ninho quer na sua posição correta, quer rodada 180 °, possui um furo, para que ao ser pousada na forma incorrecta o detector responsável por detectá-la não a encontrar, pois o detector da base fica localizado numa posição onde a garra tem ausência de metal (furo).

Por sua vez a garra, pode ser encaixada quer na sua posição correta ou em múltiplos de 120 °. Para garantir o posicionamento da ferramenta, existem dois detectores no ninho, em que um garante que esta se encontra pousada, ficando este detector no centro do ninho, detectando o centro da ferramenta, e outro que garante a posição correcta, com um sistema similar ao da ferramenta de separadores, ou seja com furos na posição correspondente ao detector.

Para retirar as posições da ferramenta, deslocou-se o robô com os eixos desbloqueados até encaixar no ninho correspondente a cada ferramenta montada. Seguidamente, deixando a ferramenta nos ninhos, verificou-se se o robô entrava com suavidade no encaixe das ferramentas enquanto este se movia a uma velocidade muito baixa. Então retiraram-se os pontos para retirar/colocar as ferramentas nos ninhos e o ponto de aproximação.

Os separadores, conforme o *buffer* tivesse maior ou menor quantidade, fazia variar em Z o ponto de onde se deveria pegar o separador. Então, criou-se um ponto em cima dos separadores, com a posição de X e Y que se pretendia e com o eixo dos Z recolhido. Tendo registado este ponto decidiu-se que se faria descer o eixo Z, enquanto se tinha a eletroválvula de vácuo ligada até ter o sinal de efectivamente vácuo, significando que o separador já se encontrava nas ventosas da ferramenta, parando o movimento do eixo Z.

Tendo forma de se pegar nos separadores, foram tirados ainda os pontos de largada dos separadores. Para tal, sendo os separadores de formato rectangular como a caixa mas com dimensões ligeiramente inferiores, para poupança de tempo de levar o separador a cada camada, decidiu-se mover os separadores até à entrada de cada caixa, e então desactivar o vácuo e activar o sopro para que os separadores caíssem por acção da gravidade até à camada que tinham que ficar. Desta forma poupava-se o tempo de deslocar o eixo do Z até à camada correspondente de onde se teria de colocar o separador. Durante os testes este mostrou-se um método efectivo e nunca foram verificadas falhas na colocação do separador.

Foi registado ainda um ponto, no tapete de peças de teste padrão, para o robô fazer o pouso da peça nesse tapete. Este durante o ciclo automático fará chegar 8 peças para teste sempre que for solicitado.

Tendo todos os pontos retirados foi iniciado então o processo da codificação dos movimentos e acções a serem tomadas pelo robô.

Capítulo 5

Programação

No capítulo presente será feita uma descrição do código desenvolvido em torno dos robôs Epson SCARA LS6 e G6. Embora já tenham sido feitos desenvolvimentos em torno do robô, apenas ao existir código para estes executarem eles podem exercer as suas funções. Serão descritos os procedimentos ao rearmar e explicadas decisões tomadas ao longo do desenvolvimento dos programas.

5.1 Epson SCARA LS6

O primeiro robô para o qual é feita a descrição é o robô LS6. Será demonstrado a forma como se desenvolveu o código para a retirada de peças do *buffer*, cuja função é a principal deste robô.

5.1.1 Modo Manual

O robô Epson LS6 como já referido, terá como função, a retirada de peças do *buffer* de entrada e a colocação no prato rotativo. Dos dois robôs SCARA será o que desenvolverá a tarefa mais simples, dado que não existirão trocas de ferramentas e os movimentos são mais limitados face ao robô de saída.

No arranque do código do robô, irá ser sempre executada a função *main*. Esta função ao iniciar fará sempre uma verificação se a célula se encontra a trabalhar em modo manual ou em modo automático. O modo manual é usado maioritariamente para testes, manutenção ou repor o estado da máquina, em que o operador terá forma de controlar alguns pontos da máquina individualmente através de uma consola programável. Na Figura 5.1 encontra-se representado o fluxograma da função *main* do presente robô.

Entre algumas das funções que o operador poderá executar em modo manual, encontra-se a de poder libertar os eixos ao robô para o movimentar livremente. Embora o robô possua entradas directas para poder dar *reset* ou ordem de iniciar o código, não tem uma forma directa de mandar libertar os eixos, como tem, por

exemplo através do *software* Epson RC+ 7.3.3. Para contornar esta limitação, houve necessidade de desenvolver uma função para tal acção, e quando a função *main* é executada, se a máquina se encontrar em modo manual, ficará a ser executada ciclicamente a verificar se os eixos do robô são libertados ou bloqueados.

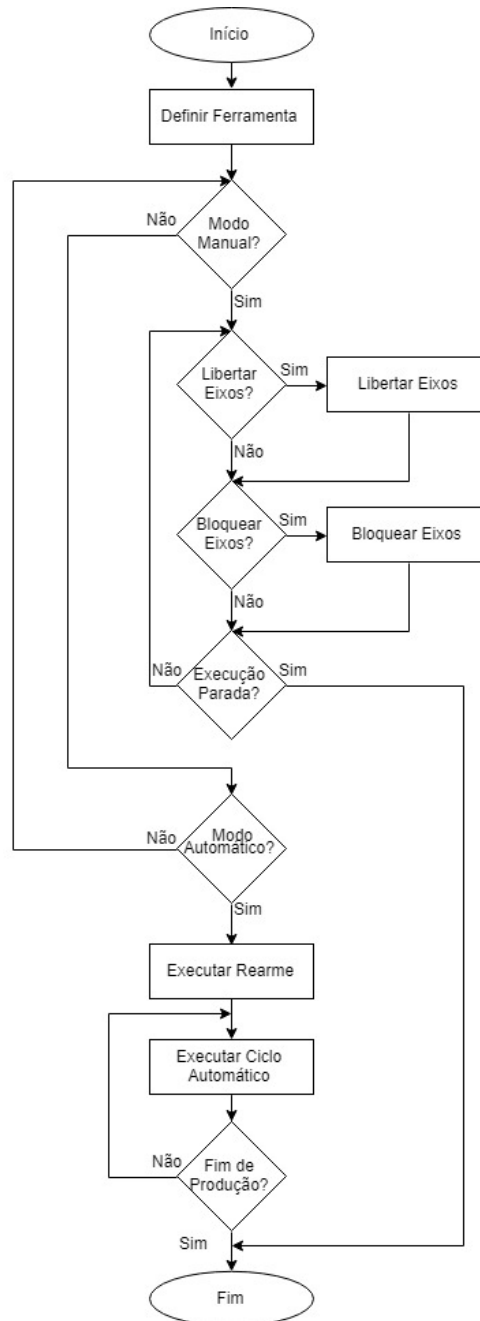


Figura 5.1: Fluxograma da função *main* do robô Epson SCARA LS6

Para o operador poder libertar os eixos, deve através da consola HMI, ligar os motores dos eixos do robô, dar ordem de *Start* ao robô e carregar num botão para libertar os eixos. Esse botão, o que fará, será accionar uma entrada do controlador, configurada para esse fim. No código, ao verificar-se a comutação desta entrada, são libertados os eixos através da chamada de uma função já existente nas bibliotecas do código, a "SFree", que recebe como parâmetros o número dos eixos que se pretende libertar, que neste caso como se libertam os quatro eixos em simultâneo, são passados os números dos quatro. Para o operador poder ter acesso ao ecrã de fazer este tipo de alterações no robô, tem de entrar no modo manual da máquina, e ao entrar neste modo o controlador do robô também possui uma entrada para ser informado disso.

Quando o operador dá ordem de *Start* na HMI o código começa a ser executado caindo na função de verificação de sinal para alterações nos eixos, por se encontrar no modo manual. Por fim, o operador deve dar ordem de bloquear os eixos com outro botão que acciona uma diferente entrada interpretada pelo código, e onde desta vez será chamada a função "SLock", que também receberá por parâmetro os eixos a serem bloqueados. O operador deve ainda dar ordem de "Stop" para que o código pare de ser executado.

De relembrar que a qualquer altura o código do robô pode ser parado de executar, por exemplo se for accionado um botão de emergência da célula.

Por outro lado, se a máquina se encontrar em modo Automático, começa a ser executado o ciclo normal do robô. No entanto, antes do robô poder começar a exercer as suas funções, é necessário que se encontre em segurança. Como tal, foi desenvolvida uma função de rearme que é executada sempre que é iniciado de novo o código do robô.

No início da *main*, outra característica que é definida, é a atribuição da ferramenta ao robô. Como foi criada uma ferramenta nova, é necessário no código definir que o robô se encontra com a ferramenta que se caracterizou nas configurações.

5.1.2 Rearme

Na função de rearme, o robô é colocado com os seus eixos em baixa potência, baixa velocidade e são ligados os motores. O robô deslocar-se-á para a posição que é considerada de repouso deste, que é um ponto gravado sobre o prato, com orientação de braço esquerdo, onde este ficará a aguardar novas ordens. Este ponto foi gravado tendo em conta que o robô enquanto estivesse aqui não iria interferir na trajectória do robô Kuka para pousar peças no *buffer*, nem na trajectória do robô G6 para este último poder usar a área do prato para troca de ferramenta ou pegar peças do prato. Quer o robô Kuka, quer o robô G6 apenas poderão usar as áreas em comum com o robô LS6, quando este se encontrar no

ponto descrito. O fluxograma do rearme do robô LS6 pode ser consultado na Figura 5.2.

Para o robô chegar a este ponto, primeiramente é verificado em que área este se encontra. Se o mesmo se encontrar na zona do prato rotativo, é enviado directamente para o ponto de repouso. No entanto se a ferramenta se encontrar no *buffer* de entrada a transição para o ponto tem de ser mais cuidada.

Reparou-se em testes, que se a passagem do *buffer* para o prato rotativo não fosse feita recorrendo a um movimento linear, existia um risco elevado do robô colidir com o tampo elevatório. No entanto, não se pretendia fazer a passagem entre zonas recorrendo a movimentos do tipo "Move", pois embora este movimento seja linear entre pontos, é um movimento lento, ao contrário do movimento do tipo "Go" que é mais rápido dado que o robô escolhe a trajectória de modo a otimizar o movimento. Então optou-se por fazer a retirada de vários pontos para criar um movimento linear, mas para fazer a transição entre eles, usar o movimento *Go*. Os pontos retirados foram três: um em cima do *buffer* próximo da zona de transição ao qual se chamará "Ponto de Transição 1", outro na exacta zona de transição (Ponto de Transição 2), e por último, um ponto já em cima do prato (Ponto de Transição 3), mas também este próximo da zona de transição.

Já tendo o robô numa posição segura, existem dois casos possíveis para o início do trabalho do robô. Existe a possibilidade de a célula continuar a produção anterior, com as peças que se encontravam previamente na máquina, e existe a possibilidade de iniciar nova produção, com a máquina sem peças. Esta informação é passada através das entradas do controlador.

Caso seja considerado que é para continuar a produção, o robô verificará o estado da sua ferramenta. Se esta se encontrar aberta, ele assume que não possui peça na garra e continuará a esvaziar o *buffer* a partir da peça que ele detectar (cada ninho do *buffer* possui um detector). Contudo, se a garra estivesse fechada, era assumido que este possuía uma peça na garra. De seguida serão verificadas as peças colocadas no *buffer* e com base nisso sabe a peça que possui na garra. Por exemplo, se estiverem no *buffer* as peças 6, 7 e 8, o robô terá na garra a peça número 5. Sabendo a peça que possui, sabe também onde a colocar no prato. Como o robô não pega nas peças do *buffer* com a mesma orientação com que coloca no prato, tem a necessidade de fazer a rotação da ferramenta. Por isso, antes da colocação no prato, há uma verificação da orientação da ferramenta e caso seja necessário, existirá a rotação de 180 °. Então, o robô após o rearme e a colocação da peça que possui na garra, voltará para a posição de repouso para iniciar o ciclo automático de funcionamento.

Por outro lado, se for para fazer uma nova produção, o robô irá verificar se tem a garra aberta e se a rotação da ferramenta é a correcta para ir ao prato pegar novas peças. Após estas duas verificações, ficará a aguardar a ordem para

ir ao prato buscar peças, começando pela primeira. Dá-se assim início ao ciclo automático.

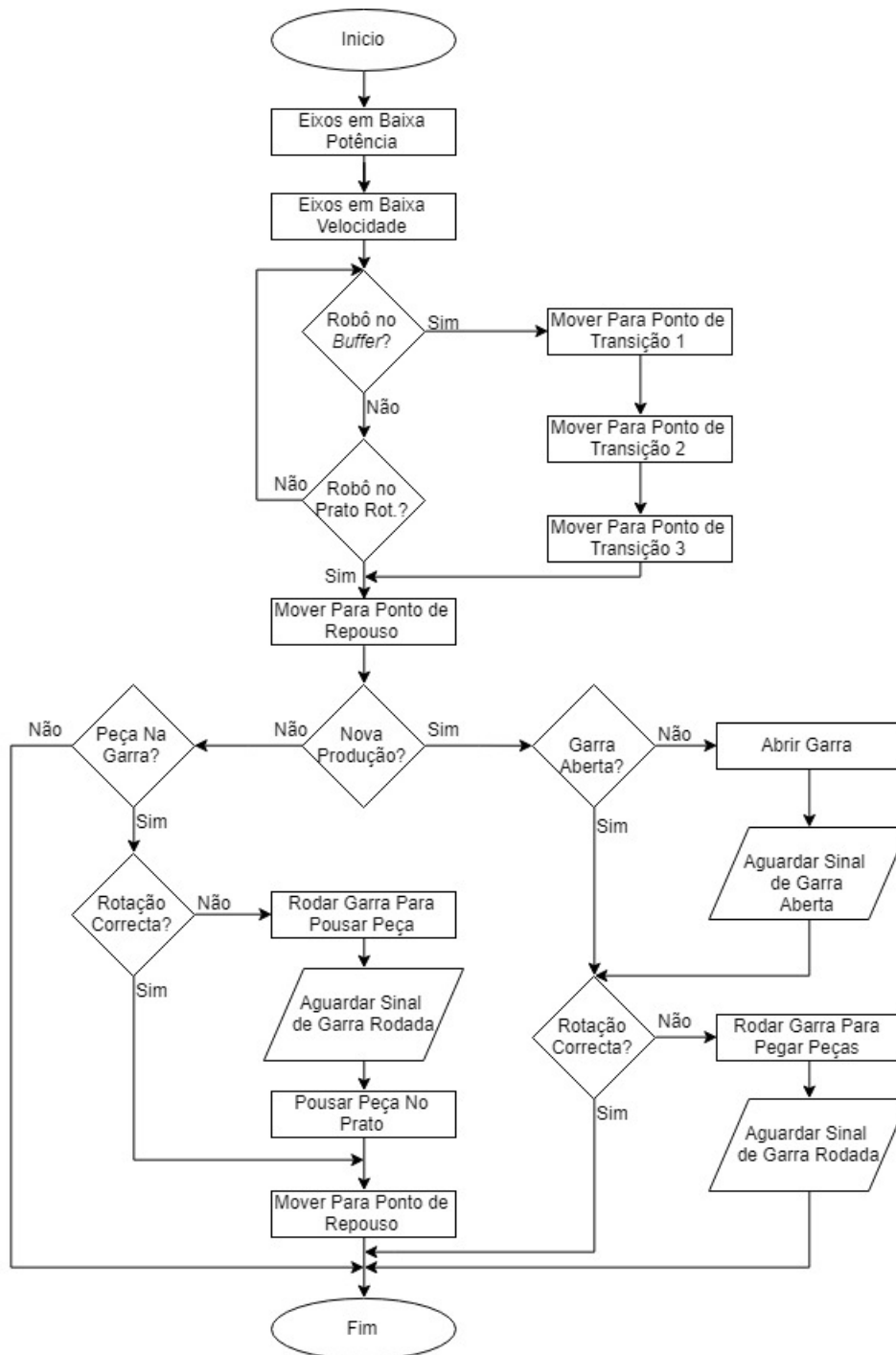


Figura 5.2: Fluxograma do rearme do robô Epson SCARA LS6

5.1.3 Ciclo Automático

Sendo que o robô terá de retirar oito peças do *buffer* de entrada e colocar no prato, e o prato a cada rotação tem ninhos disponíveis para colocar duas peças, avaliou-se a forma como o robô faria o transporte de forma a que o processo fosse simples.

A forma adoptada baseou-se em esvaziar o tampo, começando pela peça número um do tampo até à oito, e no prato em colocar primeiramente no ninho esquerdo e então depois no ninho direito. Como as peças são colocadas no prato duas a duas, acabaria-se por se colocar sempre as peças de número ímpar no ninho esquerdo e as peças de número par no ninho direito. A numeração das peças é dada em conformidade com o número da cavidade do molde de onde a peça foi injectada. Na Figura 5.3 é possível verificar a numeração das peças face à sua posição no *buffer* de entrada.

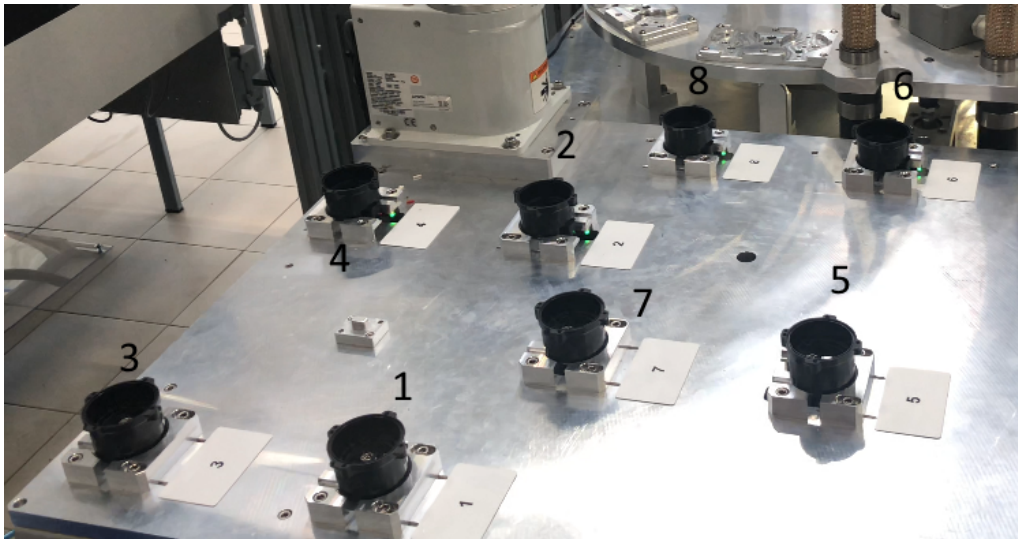


Figura 5.3: *Buffer* de entrada com a numeração igual ao molde

Tendo em mente que peças retiradas da mesma posição de entrada eram colocadas sempre no mesmo ninho do prato, resolveu-se criar oito funções, similares entre elas, sendo que em cada uma foi programada a retirada da peça de cada ninho do *buffer* de entrada e colocada no prato.

A notar, que no final do rearme, caso fosse para continuar a produção, o robô colocaria, a peça da sua garra no prato. Caso ainda houvessem peças no *buffer*, o PLC daria ordem para continuar a esvaziar o *buffer*, mas estando já nesta altura o robô na função de modo automático.

O ciclo automático é uma função que é chamada ciclicamente enquanto a máquina se encontra no modo automático. Inicialmente são colocados os eixos

dos robôs em potência alta e velocidade máxima e de seguida verifica-se, da peça 1 à 8, qual a primeira para qual o PLC está a dar ordem de ir buscar ao tempo, sendo que existe uma entrada para cada peça definida como sendo a ordem para ir buscar a peça em questão. Na Figura 5.4 é possível verificar o fluxograma do processo em questão.

Conforme a ordem que estiver a ser dada pelo PLC é executada a função correspondente a ir buscar a peça em específico e colocá-la no seu ninho. O PLC apenas dará a ordem caso o KUKA tenha deixado as peças e já se encontre em segurança.

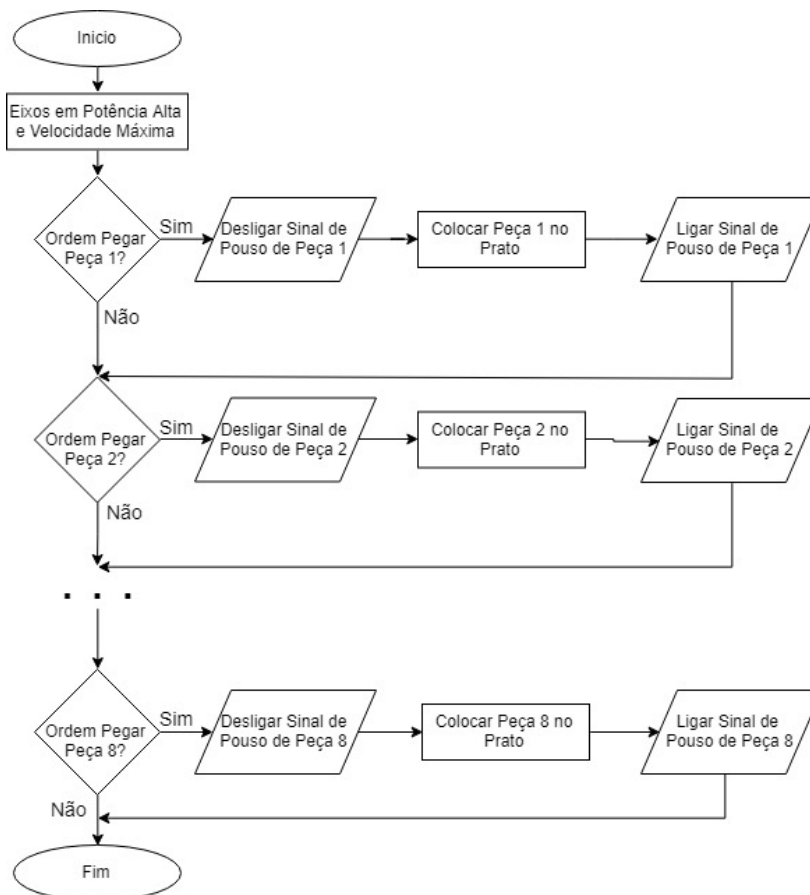


Figura 5.4: Fluxograma do ciclo automático do robô LS6

As funções de transporte das peças são similares entre si, diferindo apenas nos movimentos realizados para pegar e pousar as peças. Cada peça tem o seu ponto de pegar, e as ímpares serão colocadas no ninho esquerdo, enquanto que as pares no ninho direito como já referido. Encontra-se na Figura 5.5 o fluxograma generalista da retirada de peças do *buffer* para o prato rotativo.

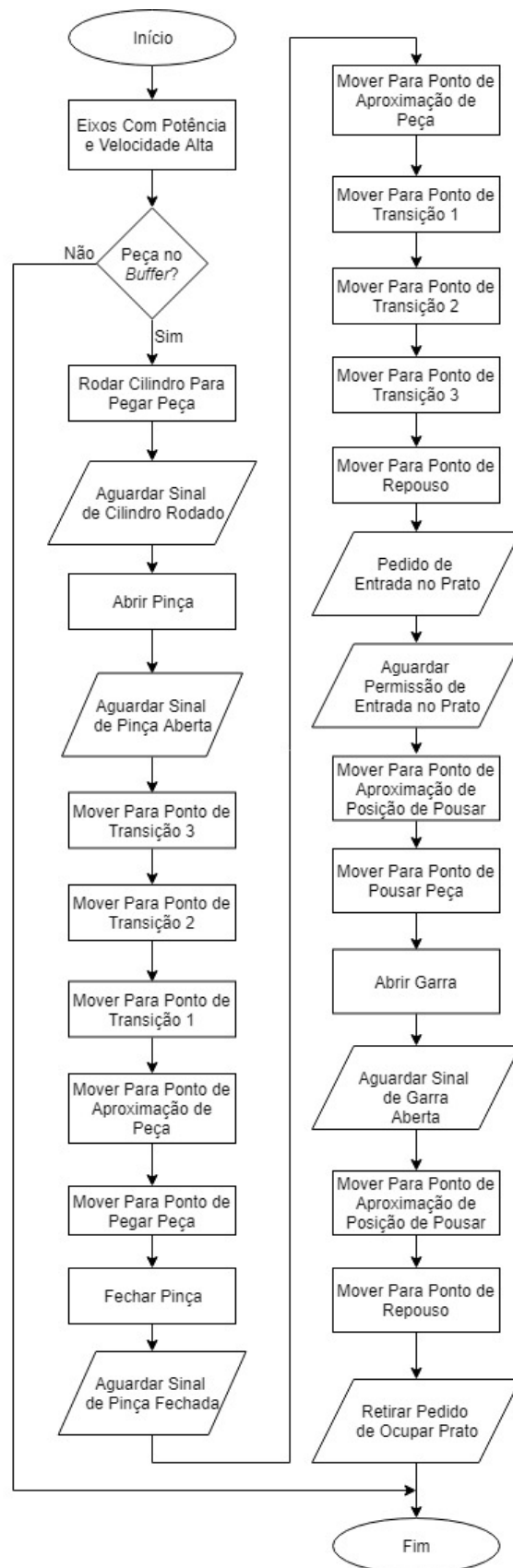


Figura 5.5: Fluxograma generalista da retirada de peças do *buffer* para o prato rotativo

Existe uma saída do controlador para cada peça que o robô colocará a um no final de pousar cada peça para garantir ao PLC que fez correctamente o transporte.

Então em cada uma das funções, o primeiro passo será garantir que os eixos do robô se encontram com potência alta. De seguida verifica pelo detector se a peça a ir buscar se encontra no *buffer* e caso se confirme, força-se a que a rotação da garra seja a correcta para pegar na peça, e força-se ainda que a pinça esteja aberta.

Feitas as confirmações iniciais, move-se o robô para o Ponto de Transição 3, de seguida para o 2 e por último para o Ponto de Transição 1. Encontrando-se já o robô na zona do *buffer*, desloca-se o robô para a posição de aproximação da peça a pegar, baixando por fim o eixo até à posição de pegar. Até este ponto, o robô mover-se-á usando o comando CP já descrito para agilizar os movimentos, com excepção do movimento entre o ponto de aproximação e de pegar na peça, para garantir que este pára para pegar na peça de forma suave.

Chegando ao ponto de retirada, fecha-se a pinça assim como se garante com o sinal que ela realmente fechou, move-se a garra até à posição de aproximação e faz-se a passagem para a zona do prato rotativo, passando pelos pontos de transição 1, 2 e 3. Estando já no prato, mover-se-á para o ponto de repouso, onde efectua a rotação da garra para a peça ficar orientada para o pouso.

Para o robô avançar para colocar a peça, necessita de ocupar uma área do prato que pode estar a ser ocupada pelo robô G6. Então, criou-se um mecanismo de segurança, em que cada um dos dois SCARA sempre que quer ocupar a área do prato comum aos dois, activa um bit informativo para o PLC de que quer ocupar aquela área e o PLC irá gerir quem avançará. A permissão será dada ao robô que efectuar primeiro o pedido, e o PLC apenas cederá a permissão ao robô que está a pedir se o prato se encontrar desocupado. A permissão é também ela dada por um bit. Quando o robô deixa de ocupar a área desactiva o bit informativo para o PLC saber que o robô já se encontra em segurança e a área se encontra livre para o próximo robô que necessitar de a ocupar.

Estando o robô LS6 no ponto de repouso, pede permissão então para pousar a peça e quando a área se encontrar livre, o PLC cederá a permissão, avançando então o robô para a posição de aproximação de pousar a peça no prato, que será o ninho esquerdo caso seja uma peça ímpar ou o ninho direito no caso da peça par. Por fim pousará a peça no prato, abre a garra, sobe novamente à posição de aproximação e segue até à posição de repouso, liberando a zona do prato para quem voltar a precisar primeiro.

Sempre que se abre a garra ou se roda a garra, além da acção, aguarda-se o sinal de que a operação foi feita. Por exemplo se a garra for fechada, aguarda-se

o sinal de garra fechada, ou se o cilindro rotativo rodar, aguarda-se o sinal de que este avançou ou recuou.

Com a peça pousada o robô LS6 ficará a aguardar nova ordem por parte do PLC para ir buscar novas peças ao *buffer* de entrada.

Todo o processo terminará, quando um operário, através da consola HMI informar que terminou a produção, ficando os robôs em *Stop*.

5.2 Epson SCARA G6

Na presente secção será feita uma descrição sobre o código desenvolvido para o robô de saída, responsável por fazer a descarga de peças do prato rotativo e paletizar em caixas.

5.2.1 Modo Manual

De forma similar ao que aconteceu com o robô EPSON SCARA LS6, também para o G6 foi necessário encontrar uma forma para colocar os eixos desbloqueados. A forma adoptada foi a mesma que foi descrita na Secção 5.1.1, em que se verifica se há ordem de libertar os eixos quando a máquina se encontra em modo manual.

Também o algoritmo da função *main* do robô G6 é idêntico ao do robô LS6, com uma diferença. No início da *main*, o primeiro caso a ser verificado, é se existe o sinal de vácuo. Se tal existir, significa que o robô se encontra com a ferramenta de transporte de separadores e possui um separador na ferramenta. No entanto, para prevenir que o separador venha a cair, caso se tenha sinal de vácuo, dá-se ordem ao PLC para que seja dado ordem de vácuo à eletroválvula.

Mesmo existindo mecanismos a nível mecânico para garantir que o sistema não perde ar e consequentemente não deixa cair o separador, toma-se também uma acção a nível de programação.

Toda a restante função *main* além da acção tomada ao nível do vácuo, é então similar ao robô LS6 como se pode comprovar no fluxograma da Figura 5.6. Também o rearme será realizado com o mesmo princípio do robô LS6.

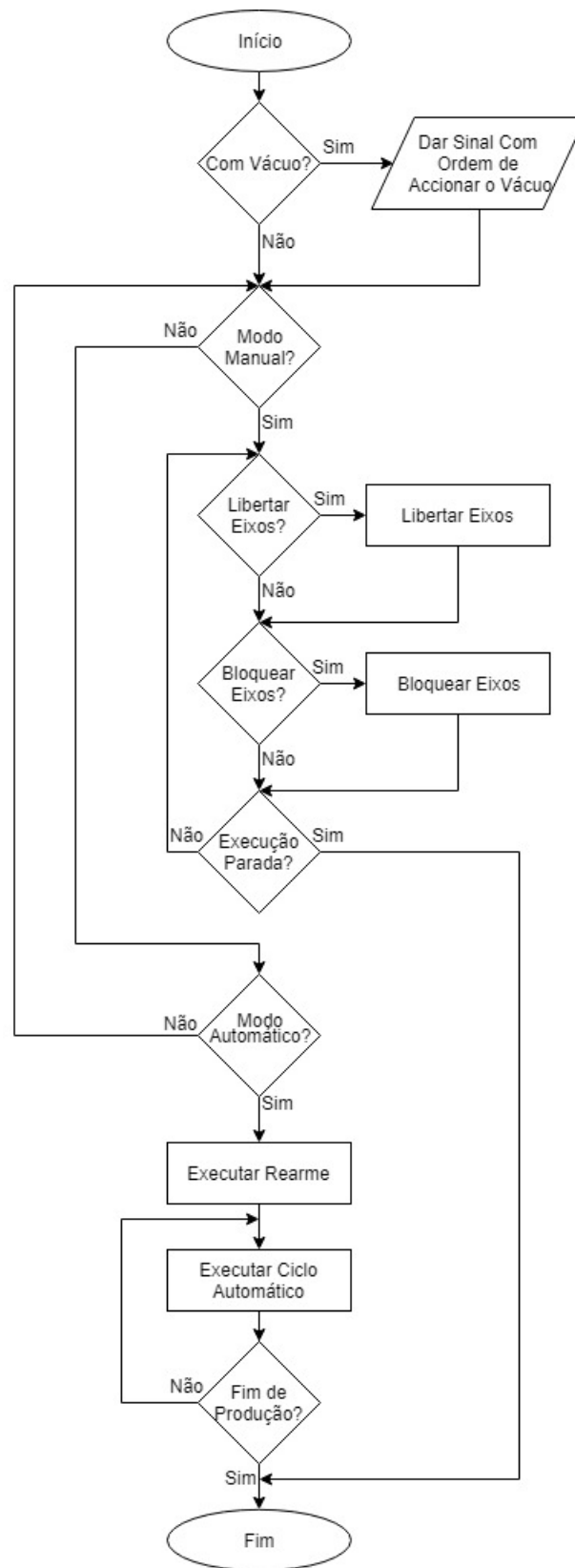


Figura 5.6: Fluxograma da função *main* do robô Epson SCARA G6

5.2.2 Função de Rearme

Assim como acontece com o robô de entrada, antes de se dar início ao ciclo do robô, também é necessário colocá-lo em segurança. Como tal, foi desenvolvida uma função de rearme que é executada sempre que é iniciado de novo o código do robô.

Na função de rearme, o robô é colocado com os eixos em baixa potência e em baixa velocidade. Então, é verificada em que área (*box*) o robô se encontra para que de seguida seja feito um movimento para colocar o robô em segurança. O que se verifica é em qual das *boxes* se encontra o robô e com isso, fazer deslocá-lo para um ponto dentro da *box* que se conheça e saiba que este se pode deslocar sem colidir com nada. Tendo então o robô numa posição conhecida, faz-se o movimento do robô até ao ponto descrito no Capítulo 4.1 da entrada da caixa OK.

Caso este se encontre na *box* do prato, é deslocado inicialmente para a posição de aproximação criada para o ponto de pegar peças do ninho direito do prato. Após se encontrar nesta posição, é deslocado então para a posição acima da caixa OK, a sua posição de repouso.

Se este se encontrar na zona do tapete rolante, este é movido directamente para o ponto na zona da caixa, dado que, com o eixo subido, não há forma de este bater em nenhuma posição.

Para o *buffer* de separadores, foi criado um ponto auxiliar, à sua entrada para forçar o robô a passar por este à entrada e saída do *buffer*, para evitar que na transição entre este e a zona do tapete, não exista uma colisão com a estrutura da máquina com um separador ou com a ferramenta.

Por isso, se o robô se encontrar na zona do *buffer* de separadores, será movido primeiramente para o ponto de aproximação de pegar separadores, que é o ponto conhecido nessa caixa, de seguida, será movido para o ponto transitório, e depois de se encontrar na zona dos tapetes será então movido para a zona de repouso na caixa OK.

Uma nota para o *buffer* de separadores, para não haver confusão com o *buffer* de peças já referido atrás para o LS6. O robô LS6 apenas terá acesso ao *buffer* de peças, enquanto que o G6 terá acesso ao de separadores. Na Figura 5.7 é possível analisar o fluxograma da função de rearme do robô.

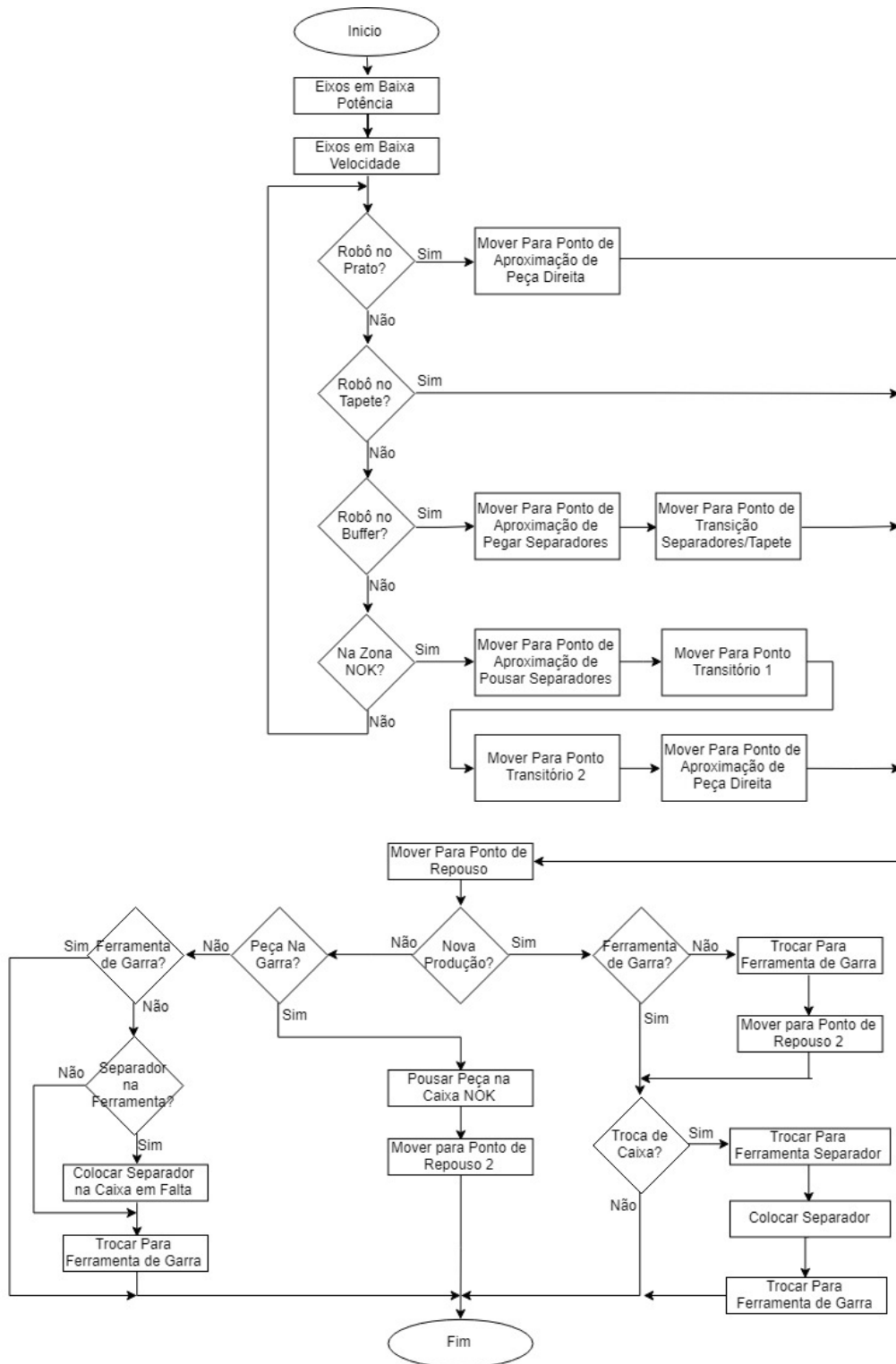


Figura 5.7: Fluxograma da função de rearme do robô Epson SCARA G6

A transição entre a zona do prato e a zona de caixas NOK tem de ser feita de forma cuidadosa, pois facilmente o robô ao executar movimentos pode entrar na zona do tampo, causando a sua paragem. Então para tal, o robô é forçado a movimentar-se entre dois pontos, ambos próximos à zona de transição, sendo um do lado da caixa NOK (ponto de transição 1) e outro do lado do prato rotativo (ponto de transição 2).

Então, caso no rearme o robô se encontre na zona das caixas NOK, inicialmente ele vai ao ponto de aproximação do ponto de largar os separadores, pois sabe-se que como é uma zona central, não existirá colisão, e de seguida faz-se ele fazer a transição para o prato rotativo. Depois de se encontrar no prato, move-se então para o ponto de aproximação de pegar peças do lado direito e por fim para o ponto de repouso.

Desta forma, garantia-se que após o arranque, o robô se encontrava num local que se considera seguro e deixará livre o prato para que o LS6 se possa mover se tiver de invadir a área antes que o robô de saída. De seguida, será feita a detecção da ferramenta que se encontra no robô, usando para tal os detectores que se encontram nos ninhos das ferramentas.

Caso se detectasse a ferramenta da garra no ninho e nenhuma ferramenta no ninho da ferramenta de separador, então assumia-se que este se encontrava com a ferramenta de transportar os separadores. Por outro lado, se a ferramenta dos separadores fosse detectada no seu ninho e a garra não fosse detectada, então era considerado que a ferramenta que se encontrava no robô, seria a garra. Por fim, caso ambas as ferramentas fossem detectadas, era assumido que o robô se encontrava sem ferramenta.

Se a ferramenta que se encontrasse no robô fosse a garra, ligava-se a corrente da garra, e dava-se sinal para fazer o atracamento da ferramenta. Assim, garantia-se que se liam os sinais da garra, e que esta estava a continuar a ser atracada no robô.

Por outro lado, se o robô se encontrasse com a ferramenta de transporte de separadores, esta também era atracada e desligava-se a corrente dado que a ferramenta não possui contactos eléctricos.

Sabendo a localização do robô e a ferramenta que este possui, passava-se a verificar o estado da ferramenta. Podia informar-se o robô ao iniciar a produção, de que seria para continuar a produção anterior, e o que aconteceria seria que este se possuísse uma peça na garra no rearme, a colocaria na caixa de peças NOK, e caso possuísse um separador na ferramenta de separadores, este verificava em qual das caixas era necessário colocar separador e iria deixá-lo nessa caixa, trocando de seguida para a ferramenta de garra.

O processo de deitar a peça da garra na caixa NOK foi acordado com o cliente. Era possível saber para onde iria a peça que o robô estava a transportar,

guardando em memória o tipo de peça que o robô possui na garra e depois no rearme verificar que tipo de peça era ou ainda deixar tal decisão a cargo do PLC. O cliente mesmo assim decidiu que a peça seria NOK, pois tratava-se apenas de uma unidade e preferia não correr o risco de ter peças NOK na caixa das OK.

No entanto, se o controlador fosse informado que se iria iniciar uma nova produção, o robô abriria a garra e dava sopro, para garantir que nenhuma das ferramentas se encontrava com peças ou separadores. Esta acção deveria ser monitorizada por um operador para verificar as peças que caíam. Idealmente, antes de iniciar a nova produção, o operador deveria em modo manual, retirar as peças que ficassem no robô e só então rearmar.

Mesmo sendo uma nova produção o operador tem ainda a opção de continuar a paletizar nas mesmas caixas da última produção, ou iniciar com novas caixas OK ou NOK, podendo escolher individualmente. Esta informação também era passada ao robô para que ele pudesse fazer uma limpeza aos contadores de peças das caixas que foram substituídas e saber que iniciaria com uma nova caixa.

Para concluir o rearme, o robô aguardava o sinal de que ambas as caixas se encontravam prontas a ser utilizadas. Caso fossem caixas novas, efectuava a troca para a ferramenta de transporte de separador (se não fosse esta a ferramenta que possuía) e ia buscar um separador para colocar um em cada caixa que foi colocada nova, sendo este o separador do fundo da caixa. Por fim, trocava a ferramenta para a garra. Como o ninho da garra fica próximo da caixa NOK, e quando o robô se encontrava nessa zona o prato ficava livre, assumiu-se o ponto transitório 1 como sendo também um ponto de espera para o robô como o ponto de repouso, ganhando assim tempo de ciclo evitando a sua movimentação para o ponto que se assumiu sendo o seu de repouso.

Com o rearme feito, o robô fica a aguardar a ordem para ir buscar peças ao prato, ou então se por alguma razão for substituída uma caixa, aguarda a informação de nova caixa para proceder à colocação de novo separador.

5.2.3 Ciclo de Funcionamento

O ciclo de funcionamento normal do robô é constituído na verdade por várias funções. Como se tratava de um ciclo longo, com muitas opções diferentes e variantes, tomou-se a decisão de reduzir o código em funções mais pequenas e ir testando à medida que se desenvolvia.

Serão descritas as diferentes funções criadas em sub-capítulos para melhor compreensão e por fim como são utilizadas no ciclo automático.

5.2.3.1 Colocação de separador

O robô necessita de colocar cinco separadores em cada caixa, sendo um no fundo e outro a fazer a separação de camadas, para ambas as caixas OK e NOK.

Para tal o robô necessita de fazer a troca de ferramenta para transportar os separadores, sendo que para esta tarefa foi criada uma nova função. Na função de troca de ferramenta da garra para o transportador de separadores, é criada uma trajectória para que a garra do robô se desloque para a zona de caixas NOK partindo do mesmo princípio que se usou no rearme, ou seja, usando as *boxes*.

Antes de iniciar o processo de troca de ferramenta é sempre verificado se o ninho onde se pretende pousar a ferramenta actual se encontra desobstruído e se a ferramenta a pegar se encontra no seu respectivo ninho.

Tendo robô na zona da caixa NOK, desloca-se para o ponto de aproximação de pousar a garra, e de seguida, para o ponto de pegar e largar a garra. De seguida, desliga-se a alimentação dos detectores da garra e desatraca-se a ferramenta para esta ficar solta. Após esta acção, dá-se um pequeno tempo para garantir que a ferramenta se encontra totalmente desacoplada antes de iniciar o movimento do robô sem ferramenta, para evitar que a ferramenta ainda venha junta com o robô, provocando uma queda da mesma.

Após deixar a garra no ninho, o robô vai até ao ponto de pegar a ferramenta de transporte de separadores, onde novamente após se dirigir ao ponto e dar ordem ao PLC de atracar a ferramenta também se aguarda um pequeno instante antes de iniciar o movimento, e então faz-se a deslocação do robô até ao ponto de repouso do robô, terminando assim a função de troca de garra para separador. O robô aguardará neste ponto que a barreira de segurança do exterior da máquina por onde o operador fará a inserção de separadores, se encontra desobstruída.

Já com a garra o robô movimentar-se-á até ao *buffer* de separadores, respeitando a zona transitória entre o tapete rolante e o *buffer*. Ao chegar ao *buffer*, a velocidade do robô é reduzida para pegar nos separadores. O robô após se encontrar no ponto de aproximação de retirada de separadores, será activado o vácuo da ferramenta e o robô irá ciclicamente descer 6 mm de cada vez, até ter o sinal de que está a fazer efectivamente vácuo.

Este procedimento tem de ser feito com velocidade mais lenta, pois como as ventosas de pegar nos separadores são flexíveis, e até se ter sinal de vácuo estas ainda se irão deformar, poderia acontecer de o robô colidir antes de obter o sinal de vácuo.

O controlador ao receber o sinal de vácuo, irá subir novamente 10 mm de forma lenta e só então irá terminar de subir a sua ferramenta em Z com mais velocidade. Se o robô após pegar num separador, subir imediatamente com velocidade alta, irá causar que os separadores adjacentes ao que irá ser transportado, se desloquem

agarrados ao que está a ser transportado. Na Figura 5.8 é possível visualizar o fluxograma do processo descrito.

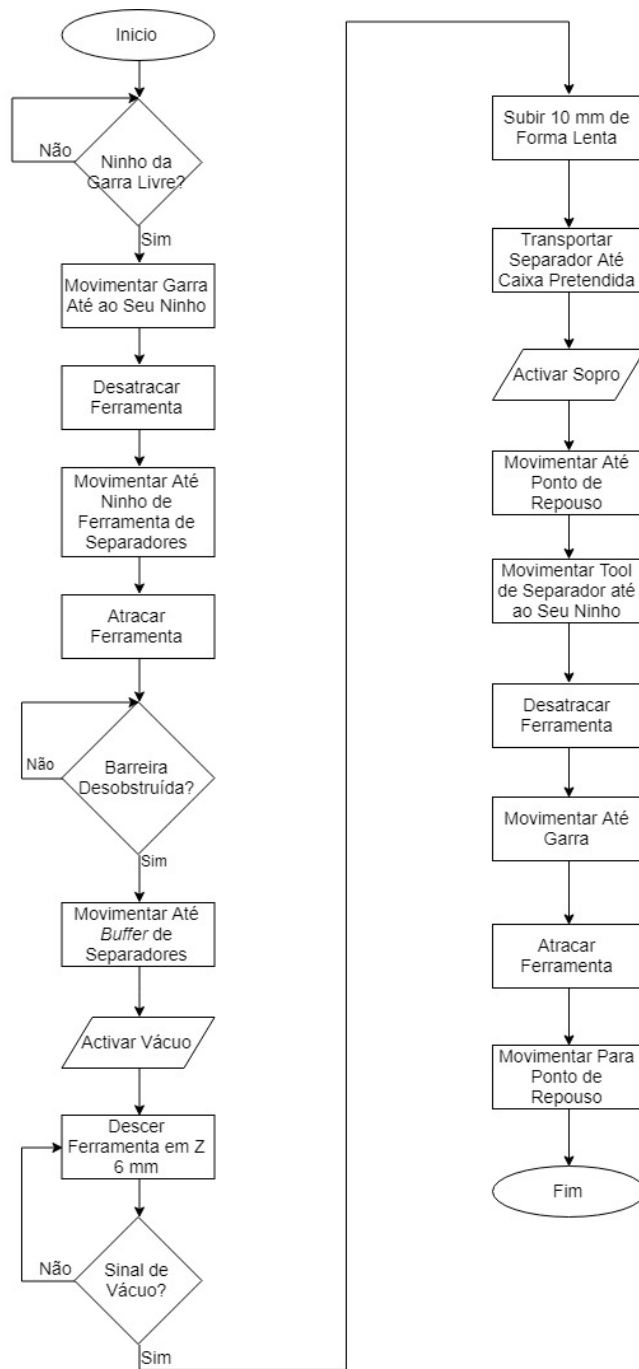


Figura 5.8: Fluxograma da função de levar um separador até à caixa correspondente

Com o separador na ferramenta, o robô tem duas opções, que são colocar o separador na caixa OK ou NOK. Para a acção de pegar no separador e colocar na caixa, foram criadas funções diferentes para cada uma das caixas. O acto de pegar o separador é similar entre funções, diferindo apenas que no caso da caixa NOK o robô terá de fazer toda uma trajectória sobre o prato rotativo até chegar ao ponto de largada do separador, enquanto que no caso da caixa OK, à saída do *buffer* de separadores, se pode enviar o robô directamente para o ponto.

Assim que o robô se encontra no ponto de largada do separador, corta-se o sinal de pedido de vácuo e é dado o sopro durante uns instantes para que o robô largue o separador.

Quando o robô termina de colocar o separador, no caso da caixa OK o robô movimenta-se para o ponto de repouso, e no caso da caixa NOK, movimenta-se para o ponto transitório 1. Termina assim a função de colocar separadores para cada uma das caixas.

Estando os separadores colocados, é necessário que o robô volte a trocar de ferramenta. Desenvolveu-se então nova função que funciona de forma similar à anterior mas de maneira inversa. Através da *box* em que se encontra o robô, é feita a trajectória até ao ninho da ferramenta de separadores onde ficará esta ferramenta e de seguida o robô irá ao ninho da garra pegar na mesma. Após o robô ter a garra, ficará a aguardar no ponto transitório 1, sendo esta a função de troca de ferramenta de separadores para a garra.

Neste processo encontrou-se um problema no robô. Ao efectuar o movimento de chegar ao ponto de se aproximar para pegar os separadores, visualizava-se um *overshoot* no eixo Y do robô.

Visualmente, o que se reparava é que este, ao chegar ao ponto de aproximação de pegar separadores, iniciava o processo de aproximação aos separadores, onde devia apenas descer o eixo Z, mas no entanto ainda existiam oscilações nos restantes eixos.

Inicialmente surgiu a dúvida se seria a estrutura que cedia, mas no entanto, como a estrutura é rígida, o robô se encontra aparafusado e cavilhado a um tampo, assim como a estrutura se encontrava aparafusada ao chão, considerou-se esta hipótese pouco provável. Para a descartar por completo, foi filmado o robô a executar este movimento em câmara lenta, para poder analisar com mais calma o que aconteceria.

Então comprovou-se que era mesmo um *overshoot* no eixo Y do robô. O robô ao chegar ao ponto, vindo do lado do transportador de caixas OK, não parava na posição exacta do ponto e oscilava em Y, até ficar no ponto exacto para onde foi programado.

Após análise do código, conseguiu-se corrigir o problema, fazendo a substituição de uma função no código. Para fazer o decremento em Z até atingir os separadores, era usada uma função que retornava a posição actual do robô, para verificar a posição actual do robô, e a essa posição, baixar os 6 mm de cada vez. No entanto, o problema residia na função (função "RealPos") que retornava a posição actual do robô. Ao substituir a função por outra (função "Here") deixou de se verificar o problema. Analisando a documentação da linguagem de programação do controlador (SPEL +) não se conseguiu compreender quais as diferenças significativas para que se verificasse tal problema.

5.2.3.2 Paletização

Uma das primeiras funções programadas foi a paletização sendo esta também uma das grandes utilidades do robô SCARA G6.

Na função de paletização, o robô começa por fazer o teste da ferramenta que possui nesse momento. Pode ser a garra, ferramenta de pegar no separador ou pode não ter nenhuma ferramenta. Para saber, são verificados os detectores dos ninhos das ferramentas.

Como o robô necessita de saber as peças que já paletizou, e este valor precisa de ser retentivo, ou seja, caso exista um corte de energia ou a célula seja desligada por alguma razão, no ciclo de produção seguinte, o robô necessita de saber onde continuar. Então foi necessário criar um ficheiro do formato ".inc", onde são declaradas variáveis globais para o controlador do robô. Este ficheiro é criado dentro de uma pasta existente no controlador apropriada para ficheiros deste tipo. Dentro do ficheiro são criadas variáveis, do tipo "Global Preserve Integer", ou seja variáveis globais, do tipo *Preserve* que é o que a define como retentiva e ainda do tipo inteiro. No início do ficheiro da *main* foi necessário fazer a inclusão deste ficheiro de modo a ficarem acessíveis as variáveis.

As variáveis que foram criadas foram contadores. Criou-se três contadores para cada caixa, em que um faz a contagem total das peças existentes em cada caixa, outro faz a contagem das peças na camada que está a ser actualmente paletizada e ainda um contador que indica a camada em que o robô se encontra a paletizar no momento.

Para a paletização foram criadas quatro funções similares mas com funções distintas. Existe a opção de o robô ter para recolher uma peça esquerda ou direita e que seja OK ou NOK. Tendo quatro opções, foi criada uma função para cada uma delas. O fluxograma geral do processo está representado na Figura 5.9.

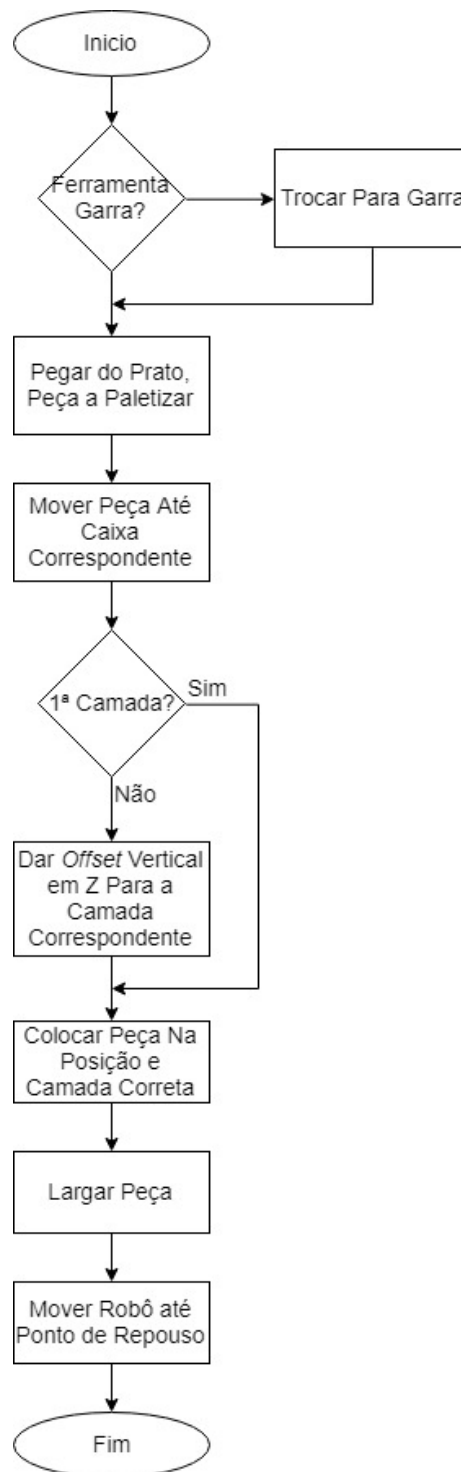


Figura 5.9: Fluxograma da função de paletização

Em todas elas, o robô irá confirmar que possui a garra aberta, move-se até à

peça, fecha a garra e aguarda sinal da mesma fechada. Move a peça verticalmente, move-se até a caixa onde pretende deixar a peça e de seguida são verificadas algumas condições.

Para saber onde colocar a peça, o robô verifica a camada, ficando assim a saber se às posições iniciais onde foi criada a paleta, terá de dar um incremento em Z para colocar a peça numa camada mais superior face à primeira. O valor da camada será de 1 a 5 conforme a camada onde o robô irá colocar a peça.

Como foi criada uma paleta usando o *software* da Epson, pode-se utilizar uma função própria do *software* que retorna pontos de uma paleta. Essa função recebe como parâmetros o número identificativo da paleta que se pretende utilizar e o número da peça a colocar.

Para tal, ao chamar essa função, dá-se como parâmetro de peça a colocar, o número guardado em variável retentiva do número de peças da camada actual. Este valor, na verdade possui guardado o número de peças paletizada, mais um. Ou seja o número que se encontra guardado é o da próxima peça a ser paletizada. Desta forma, o valor pode ser passado directamente como parâmetro.

Quanto o robô vai colocar as peças, o robô irá para o ponto onde colocará a peça, mas com um *offset* de 3 mm acima do ponto exacto. Então é reduzida a velocidade e só então se mandará o robô para o ponto exacto de pousar a peça. Desta forma consegue-se fazer a paletização de forma rápida mas suave. Se a velocidade fosse demasiado alta, podia-se criar vibrações na caixa no pouso da peça que poderiam causar movimentações das peças que já se encontravam dentro da caixa.

Após pousar a peça, a garra é aberta e é assegurado pelo sinal que esta abriu completamente. Também é incrementado o contador de peças na camada e na caixa. Movimenta-se então o robô para a sua posição de repouso caso tenha paletizado uma peça OK ou então para o ponto transitório 1 no caso de ter paletizado uma peça NOK, pontos esses onde ficará a aguardar novas ordens.

5.2.3.3 Ciclo de controlo

Era requerido pelo cliente que fosse possível durante um ciclo automático, sempre que o operador assim entendesse, fazer um ciclo de controlo. Este ciclo consiste na retirada de oito peças consecutivas do prato rotativo e serem transportadas para um tapete próprio auxiliar.

Ao serem transportadas peças consecutivas, garantia-se que se tinha uma peça de cada cavidade. Estas peças eram transportadas independentemente de serem peças consideradas OK ou NOK.

Então, foram criadas novamente duas funções, para peça do lado esquerdo e para peça do lado direito, para fazer a retirada da peça do prato e colocada no

tapete do ciclo de controlo. Na Figura 5.10 é possível visualizar o fluxograma generalizado da verificação se a peça é para ser levada para ciclo de controlo ou para paletizar.

O tapete de ciclo de controlo, possui um detector à entrada do tapete e este detector é utilizado para que antes que o robô transporte uma peça para este tapete, verifique com o detector se não se encontra nenhuma peça a obstruir a zona de pouso.

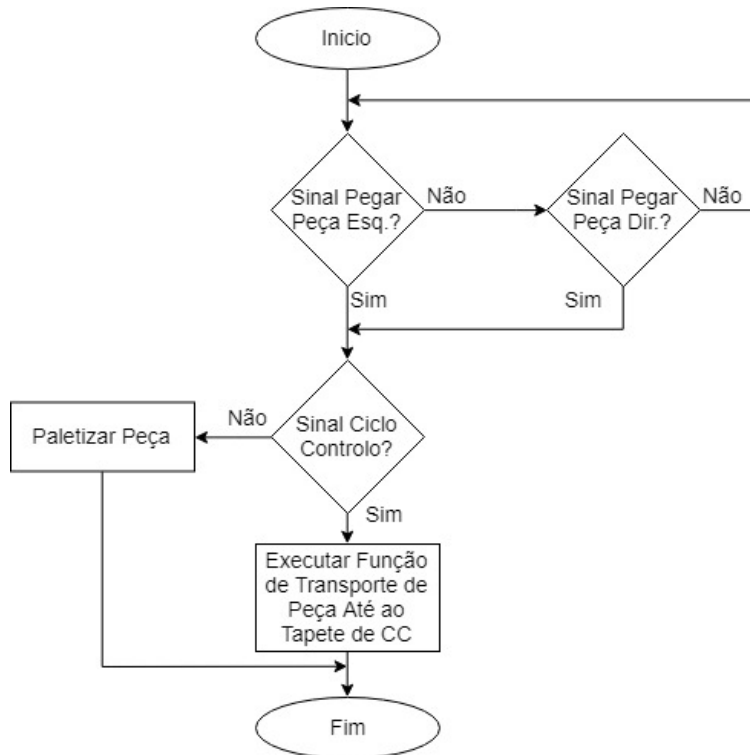


Figura 5.10: Fluxograma da função de transporte das peças para o tapete de ciclo de controlo

O robô sempre que está a aguardar para ir buscar mais peças ao prato rotativo, recebe sempre a informação para pegar ou peça esquerda NOK, ou peça esquerda OK, ou peça direita NOK, ou peça direita OK e ainda se peça para ciclo de controlo ou não. Sempre que o sinal que o controlador recebe for para ciclo de controlo este transportará a peça até ao tapete independentemente de ser OK ou NOK. A contagem das peças já transportadas para o tapete e quando deve ser feita ou não fica a cargo do PLC. O controlador apenas informa o PLC sempre que termina de pousar uma peça (independentemente de ter sido para o ciclo de controlo ou paletizada numa caixa).

5.2.3.4 Ciclo Automático

O ciclo automático do robô consiste na conjugação de todas as funções do robô e é onde será feita toda a gestão. Tendo as diferentes funções do robô programadas, há que criar as condições para saber quando serão executadas. No Anexo C está presente o fluxograma do ciclo automático do robô.

No início do ciclo automático, inicia-se por se colocar à velocidade máxima os eixos, assim como a sua força ao máximo. De seguida, é verificado se foi recebida a informação no controlador de que as caixas OK ou NOK são novas para paletizar. Isso acontece se no início dessa produção as caixas forem trocadas ou se continuará a paletizar nas mesmas de antes. Caso seja em novas caixas, o controlador colocará a zero todos os contadores referentes a essa caixa, ou seja o contador de camadas, de peças na caixa e de peças na camada.

A seguir a colocar os contadores a zero, o controlador aguardará também sinal do PLC em que como as caixas se encontram prontas para paletizar, ou seja se por exemplo, ainda não estiver uma caixa a chegar ao local de paletização por intermédio da passadeira do transportador. Assim como o controlador informará o PLC de que já limpou os contadores.

Verificando as condições das caixas é onde então todo o ciclo infinito começa, sendo que a verificação de novas caixas é feita no início do ciclo para se verificar se antes de iniciar a produção não foi inserida uma nova caixa.

Dentro do ciclo, o primeiro passo a verificar é se alguma das caixas se encontra com a camada numerada a zero. Se o contador de camadas de uma caixa se encontrar a zero, significa que ainda não foi colocado o separador do fundo da caixa. Então caso alguma ou ambas das caixas se encontrem com os contadores de camada a zero, serão chamadas as funções de troca de ferramenta e de inserção de separadores nas respectivas caixas.

Com o separador colocado no fundo da caixa, o contador de camada é colocado a um, assim como o contador de peças na camada e o contador de peças na caixa. Como já descrito, com o contador de peça a um, significa que a peça que será colocada a seguir, será a peça um.

O mesmo acontecerá sempre que o contador da camada se encontrar a 1, 2, 3 ou 4, e o contador de peças da camada for igual a 21. Ou seja, sendo 21 significa que a camada possui 20 peças e a próxima peça seria a 21^a, mas como cada camada apenas leva 20 peças, é necessário então colocar um separador para iniciar uma nova camada.

Sempre que se coloca um novo separador, incrementa-se o valor do contador de camadas e coloca-se a um o contador de peças de camada.

Se a camada for igual a 5 e o contador de peças na camada for 21, sabe-se que a caixa estará cheia e dá-se o sinal ao PLC para substituir a caixa, ficando-se a

aguardar por sua vez o sinal do PLC a confirmar que a caixa nova já se encontra disponível.

Verificado o estado das caixas em relação às camadas, é verificado se o operador não pediu para substituir a caixa durante a produção por alguma razão. Tal acontecimento, volta a reiniciar os contadores.

De seguida o robô ficará a aguardar novas ordens. Sendo que chegarão duas peças pelo intermédio do prato rotativo, o robô receberá ordem de pegar na peça direita ou esquerda, NOK ou OK e ainda para paletizar ou para o ciclo de controlo. No final do transporte das peças, todo o ciclo iniciará de novo.

Capítulo 6

Segurança

Como é possível observar, há trabalhos que até então requeriam a mão de obra humana que estão a ser substituídos por sistemas autónomos. No entanto, estes sistemas encontram-se maioritariamente instalados em plantas fabris onde também circulam pessoas.

Como tal, há que garantir que os sistemas autónomos funcionem em segurança, garantindo que não causam qualquer dano físico a operadores que ocupem um espaço próximo [44][45].

No caso do projecto aqui descrito, dentro da sua célula, existem muitas partes móveis tais como os robôs SCARA e o robô articulado que trabalham em velocidades elevadas e com muita força. Um ocupamento indevido do espaço destes robôs por um operário poderia resultar numa tragédia, pelo que é importante ter um sistema capaz de prevenir possíveis acidentes.

6.1 Equipamentos de Segurança

No circuito de segurança desta célula foram utilizados três sistemas: fechos de segurança, botões de emergência e barreiras de segurança. Para fazer o tratamento dos sinais, existe ainda um PLC de segurança.

Foram utilizados dois fechos de segurança, um em cada porta de acesso ao interior da célula. Estes fechos possuem um modo de funcionamento, em que o operário deve por intermédio de um botão pedir autorização para entrar na célula e quando o sistema conceder autorização, o interveniente pode abrir a porta e deve levar consigo a chave. Desta forma garante que ninguém o tranca indevidamente no interior da célula enquanto se encontrar dentro.

Ao sair da célula, deve fechar novamente a porta, sendo para tal necessário que a chave se encontre na ranhura. Após fechar a porta, deixa de ser possível retirar a chave.

O segundo equipamento de segurança instalado na célula é o botão de emergência. Foram instalados um total de quatro botões, sendo um próximo de cada uma das portas, outro junto do *buffer* de separadores e por fim outro no interior da célula.

Estes botões devem garantir que ao serem premidos, todos os equipamentos devem parar com a maior brevidade possível. Embora por vezes os operários ignorem a verdadeira função do botão, utilizando-o como um botão de paragem da máquina, este deve apenas ser premido em casos que se justifiquem, como em casos de risco de ocorrerem danos pessoais ou materiais.

Embora toda a célula seja fechada para prevenir entradas indesejadas, existem áreas em que é possível inserir um membro, tal como um braço, dentro da máquina mas neste caso, acontece no *buffer* de separadores. Esta área tem de ser acedida pelo operário para poder inserir novos separadores e pelo robô para pegar em separadores.

Para tal foi necessário criar uma segurança para prevenir que o operário sofra danos ao colocar novos separadores. Este sistema consistiu na colocação de três barreiras de segurança.

A localização dos equipamentos de segurança foi acordada entre a WRK e o cliente da célula, dado que existiam equipamentos de ambas as partes dentro da área a proteger, assim como se tinha que cumprir os requisitos internos da empresa cliente, pois era onde a célula se encontrava instalada. Na Figura 6.1 encontra-se representado a localização das barreiras de segurança.

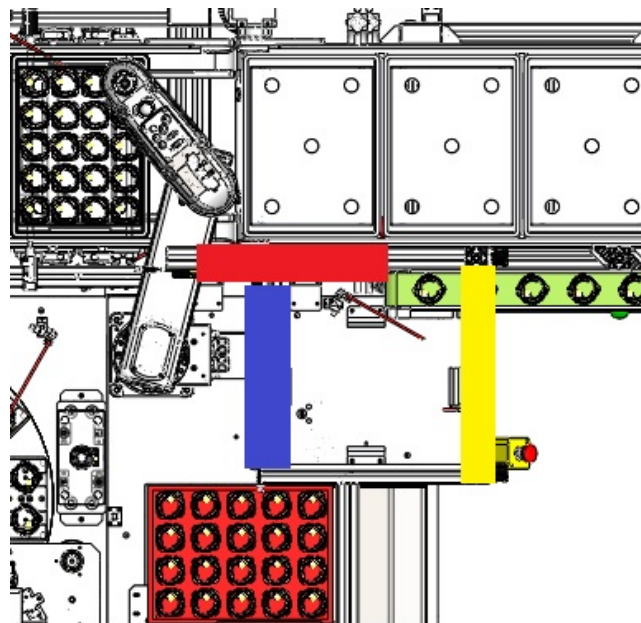


Figura 6.1: Localização das barreiras na célula

Embora a localização dos equipamentos tenha sido definida com o cliente, a WRK apenas fará o tratamento do sinal para o projecto desenvolvido pela própria. Todas as acções de segurança para máquina de injeção ou robô articulado, foram tratados pelo cliente.

A amarelo na Figura 6.1 encontra-se representado a localização da barreira da zona exterior da célula e é por onde o operário fará a inserção dos separadores. Este sinal se for interrompido a qualquer instante, irá provocar que o tapete rolante do transportador de caixas seja parado caso se esteja a mover. Esta acção é tomada para prevenir que o operador fique com a mão presa no tapete, que pode ser acedido pela zona interior, e seja puxado.

Caso a barreira representada a amarelo seja interrompida, não terá qualquer acção directa no robô. Mas o robô sempre que vai buscar o separador fica a aguardar caso este par de barreiras já se encontre interrompido.

No entanto, caso seja interrompida uma das barreiras azul ou vermelha (ou ambas) em conjunto com a barreira amarela, todo o sistema entrará em emergência. Se o robô ocupar a barreira vermelha, significará que está a pegar separadores ou em trajectória para tal, e a amarela interrompida significa que alguém ou algo se encontra dentro da área para onde se encontra a mover o robô.

A azul pode ser interrompida se o operário esticar o braço e pode chegar à zona onde se encontra a pegar peças o robô, mas para tal o operário também necessita de interromper a barreira amarela. Caso então ambas sejam interrompidas, também é accionada a emergência da célula e todo o processo parará.

6.2 Tratamento de Sinal

Todo o tratamento de sinal proveniente dos equipamentos de segurança foi feito pelo PLC de segurança Omron G9SP. Este PLC permite tomar acções em conformidade com as entradas e accionar saídas. A sua programação é feita recorrendo ao *software G9SP Configurator* (Figura 6.2) e utiliza uma programação baseada em portas lógicas.

Como entrada, este equipamento receberá os sinais dos equipamentos de segurança, receberá ordem de rearme do PLC principal assim como um sinal para autorizar a interrupção de barreiras (utilizado em testes). Todos os sinais são fisicamente ligados em dobro, ou seja existem dois sinais de cada botão de emergência. Desta forma cria-se redundância entre sinais para prevenir que a linha de um dos sinais tenha sido danificada.

Os sinais também são utilizados de forma invertida, ou seja, o botão de emergência não premido, ou as barreiras não interrompidas resulta no sinal com o nível lógico alto para o PLC. Desta forma garante-se que uma linha partida

não seja confundida com um botão de emergência desarmado ou uma barreira desobstruída.

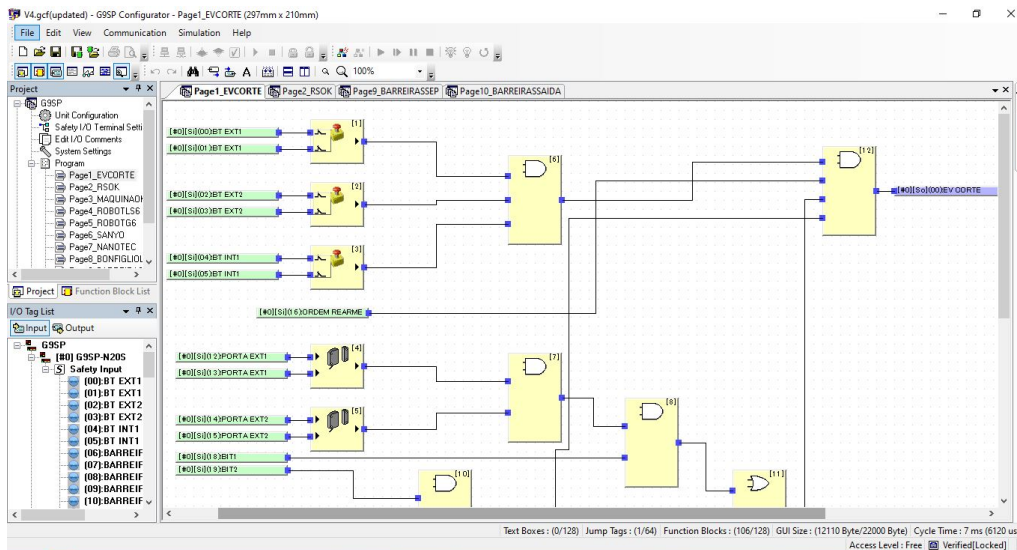


Figura 6.2: *Software G9SP Configurator*, utilizado para a programação do PLC de segurança

Quanto às saídas do PLC de Segurança, existem duas saídas distintas para cada um dos controladores dos robôs, uma provocará que estes fiquem em pausa e outra das entradas faz com que entrem em emergência. Também os controladores dos motores e prato rotativo possuem entradas de segurança para que estes possam ser parados assim como a electroválvula do ar também será fechada, cortando a passagem de ar para os equipamentos pneumáticos.

Existe ainda uma saída para o PLC principal para o notificar quando o sistema se encontra em conformidade.

Então, quando o controlador interpretar que ou um botão seja premido, ou um conjunto de barreiras azul e amarela ou vermelha e amarela seja interrompida, colocará em emergência todos os equipamentos.

Após a entrada em emergência, o G9SP removerá o sinal de máquina em segurança assim como cortará o sinal dos equipamentos que pretende imobilizar. Para repor o estado do sistema, é necessário que tenham sido repostas as condições de segurança, as barreiras desobstruídas, os botões desarmados e então é enviado o sinal de rearme ao PLC de segurança.

Este sinal é proveniente de um botão que o operador accionará depois de verificadas todas as condições. Se o PLC de segurança verificar que todas as condições são cumpridas, então dará o sinal novamente de máquina em segurança para que o PLC principal se encarregue dos restantes procedimentos assim como

o sinal de segurança para os equipamentos que imobilizou, tornando possível a máquina restabelecer o seu funcionamento.

Capítulo 7

Conclusão e Desenvolvimentos Futuros

O projecto descrito nesta dissertação foi um grande impulsionador no desenvolvimento pessoal a nível de conhecimentos na área de automação, mas também em outros campos que não podem ser descartados, tais como a capacidade de comunicar com colegas, de trabalhar em equipa, de interagir com fornecedores e marcas ou o de entender o que o cliente procura.

Em relação ao trabalho feito, existem diversas ilações que se puderam retirar e aspectos que em desenvolvimento futuro ou em outros projectos se pretendem considerar.

Começando pelos robôs e olhando para o sistema de calibração que se possuía, ao ver a máquina em produção, concluiu-se que terá sido a melhor opção não ter feito a calibração da ferramenta para o robô G6. Embora teoricamente esta afirmação não pareça ser correcta, na prática e vendo o sistema final em produção, mostrou-se ser uma decisão acertada.

No entanto, existe consciência que o trabalho para ser feito com perfeição, teria que existir um sistema preciso de calibração de ferramenta. Uma hipótese a testar futuramente, será o desenvolvimento de uma ferramenta em formato cónico, para encaixar num ninho de formato inverso à ferramenta. Desta forma, ao conduzir-se o robô com os eixos livres para o ninho da ferramenta desenvolvida, como a ferramenta é cónica, esta por si só forçará o robô a um ponto exacto, ficando a ferramenta calibrada com boa precisão.

Outro aspecto que se pretendia ter melhorado era encontrar uma forma de fazer as paletizações das caixas utilizando um ponto de referência na própria caixa. Tal não se mostrou viável dado que as próprias caixas com o uso ficam deformadas, podendo haver uma variação do próprio ponto escolhido. Em contrapartida, caso exista uma alteração na localização da caixa, o processo de remarcação de pontos para paletização, é rápido, sendo necessário apenas ensinar 3 pontos ao robô.

O processo de pegar num novo separador também merecia ser revisto. Como o robô nunca sabe o local exacto onde pegar o separador, tem de fazer uma aproximação lenta para evitar uma colisão. Com um detector na ferramenta, seria possível acelerar o processo até uma distância pré-definida pelo afinamento do detector e então fazer uma aproximação mais curta a uma velocidade mais baixa.

Também se considerava ser um melhoramento significativo deixar de existir o sistema de permissões para os robôs ocuparem a área do prato e ambos trabalhem em conjunto. Embora para um programador mais inexperiente pareça algo arriscado, tal era possível de fazer, se fossem utilizadas *boxes* de segurança milimetricamente ajustadas e se criassem rotas rigorosas para os robôs. Tal feito estimava-se que estes trabalhassem a cerca de 20 mm um do outro sem colidir, o que embora pareça pouco, é suficiente para poderem trabalhar em conjunto no prato, acelerando em muito os processos relacionados com os robôs.

No momento, os robôs encontram-se a trabalhar à velocidade máxima, o que pode ao longo do tempo causar um desgaste prematuro do material. Tendo todos os movimentos do robô definidos e as funções criadas é necessário olhar onde se pode ganhar tempo. Um exemplo é o uso dos *Arch*, onde se pode poupar até 30 % de tempo em cada movimento.

No entanto, não existe interesse em ter o robô muito rápido e em paralelo, os restantes processos de testes existentes na máquina não acompanharam os tempos dos robôs. Então, o ideal será conseguir otimizar os movimentos de forma a baixar a velocidade de trabalho e ajustar esta velocidade aos restantes processos da máquina. Assim consegue-se ter os robôs sempre a trabalhar mas sem estarem a causar atraso ao processo nem em velocidades altas.

Um aspecto a apontar aos robôs da Epson, é o facto de não existir um simulador mais completo no programa Epson RC+ 7. O simulador existente é limitado nas funções, não deixando por exemplo importar objectos para criar o ambiente circundante ao robô. Desta forma, torna-se mais difícil analisar o código desenvolvido ao trabalhar *offline*. Por outro lado, ter a oportunidade de se desenvolver o *software* e ver-se as alterações directamente no robô, mostra-se sendo a melhor opção.

Mesmo os simuladores sendo uma boa ferramenta para se poder avaliar o que acontecerá na vida real, é necessário estes serem usados com sentido crítico. Tal foi visível na simulação de paletização feita no *Solid Works* onde com o *hardware* disponível na altura se via que seria possível paletizar perfeitamente, e na prática tal não se verificou.

Foi importante ter uma comunicação activa ao longo de todo o projecto com o cliente, pois embora na WRK se tenha uma idealização do que se pretende fazer,

cabe sempre ao cliente fazer a validação final do conceito e um projecto para ser bem sucedido tem de ter um cliente satisfeito.

A segurança, por vezes descurada para simplificação do trabalho mostra-se de uma grande importância num projecto desta dimensão. Os robôs SCARA movimentam-se com uma velocidade muito elevada, o robô articulado possui muita força e existem equipamentos pneumáticos a serem accionados. Qualquer um destes equipamentos se não se encontrar a trabalhar em segurança pode provocar danos físicos aos operadores.

Outras conclusões e ideias foram mencionadas ao longo do documento.

Bibliografia

- [1] “Logótipo wrk.” Figura Disponível em: <http://www.wrk.pt>. [cited on p. xi, 3]
- [2] “Accuracy vs repeatability.” Figura Disponível em: https://lmi3d.com/sites/default/files/Accuracy_vs_Repeatability_0.png. [cited on p. xi, 11]
- [3] “Robô cilíndrico.” Figura Disponível em: <https://tegruposete7.files.wordpress.com/2011/04/cilindrico.gif>. [cited on p. xi, 12]
- [4] “Robô paralelo.” Figura Disponível em: <https://graduacao.ufabc.edu.br/eiar/conteudo/ensino/disciplinas/Robotica/FundamentosRobotica.html>. [cited on p. xi, 12]
- [5] “Robô esférico.” Figura Disponível em: https://www.researchgate.net/figure/Figura-3-Robo-esferico-Franchin-2007_fig3_256199233. [cited on p. xi, 12]
- [6] “Robô articulado.” Figura Disponível em: https://img.directindustry.com/pt/images_di/photo-g/17587-8823282.jpg. [cited on p. xi, 12]
- [7] FESTO, “Your route to the right handling system,” Março 2015. Figura Disponível em: https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/431440/HG0_Mindjogger_Americas_EN.pdf. [cited on p. xi, 13]
- [8] “Robô cartesiano.” Figura Disponível em: https://img.directindustry.com/pt/images_di/photo-g/25092-2489121.jpg. [cited on p. xi, 13]
- [9] “Scara abb.” Figura Disponível em: <https://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots>. [cited on p. xi, 16]
- [10] “Epson scara ls10.” Figura Disponível em: <https://www.epson.pt/products/robot/epson-scara-ls10-b802c-cleanroom>. [cited on p. xi, 18]
- [11] “Epson scara rs3.” Figura Disponível em: <https://epson.com/For-Work/Robots/SCARA/Epson-RS3-SCARA-Robots---350mm/p/RRS-351SSR13>. [cited on p. xi, 18]

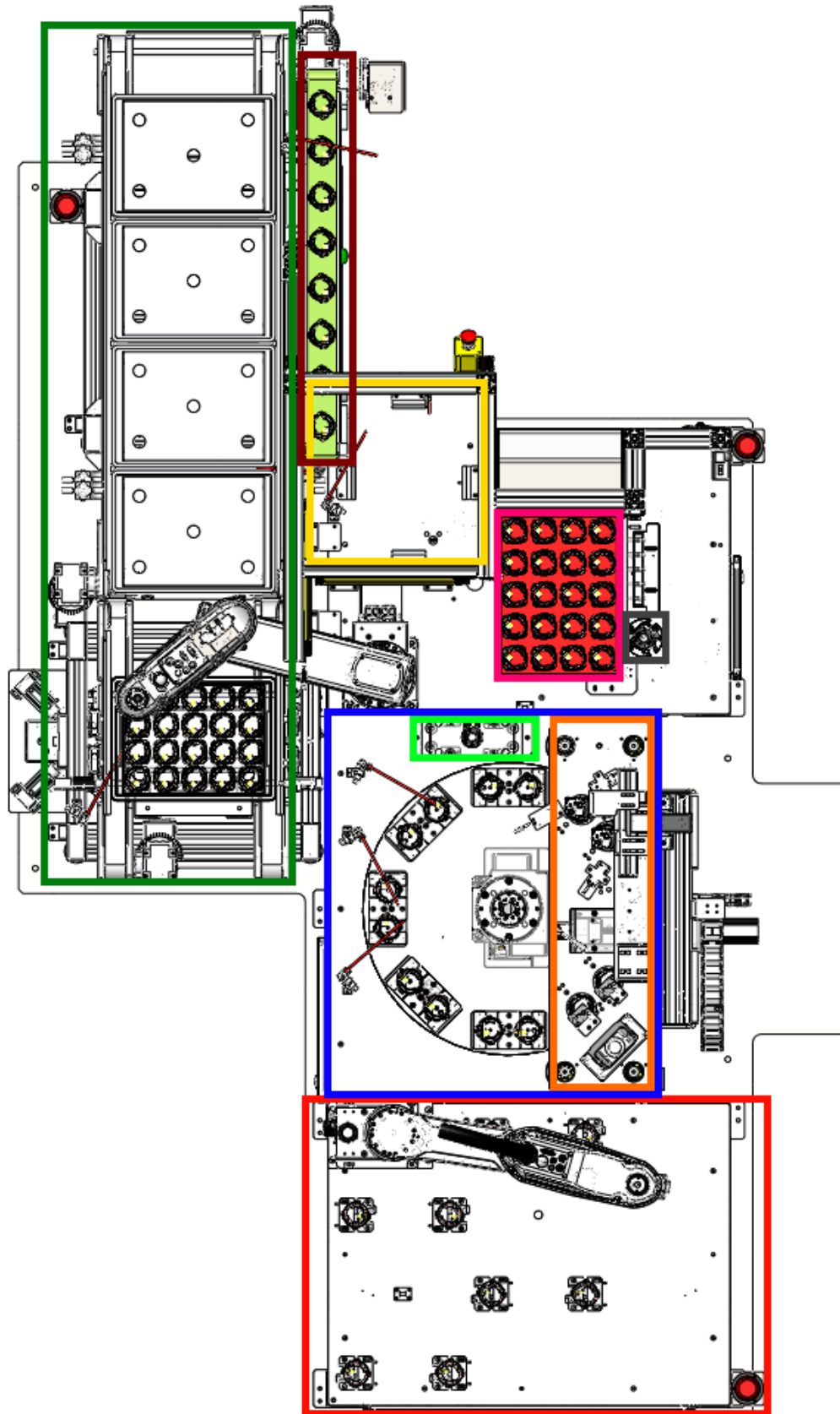
- [12] “Paletizadora de alto nível.” Figura Disponível em: <https://www.ptchronos.com/pt-br/produtos/palletizing/paletizadora-de-caixa/pequena-paletizadora-de-alto-nivel>.
[cited on p. xi, 21]
- [13] “Epson scara ls6.” Figura Disponível em: <https://www.epson.pt/products/robot/epson-scara-ls6-602s-with-rc90-controller>.
[cited on p. xi, 32]
- [14] “Epson rc90.” Figura Disponível em: <https://www.epson.pt/products/robot/epson-controller-rc90>. [cited on p. xi, 33]
- [15] “Epson g6.” Figura Disponível em: <https://www.epson.de/en/products/robot/epson-scara-g6-551s>. [cited on p. xi, 34]
- [16] “Epson rc700.” Figura Disponível em: <https://epson.com/For-Work/Robots/Controllers/Epson-RC700A-Controller/p/R2170011>.
[cited on p. xi, 35]
- [17] “Omron g9sp.” Figura Disponível em: https://pt.farnell.com/productimages/standard/en_GB/2812044-40.jpg. [cited on p. xi, 37]
- [18] “Omron cj2m.” Figura Disponível em: <https://industrial.omron.pt/pt/products/cj2m>. [cited on p. xi, 38]
- [19] L. Dinheiro Vivo, “Lucro da vista alegre duplica para 3,7 milhões de euros até junho,” Julho 2019. <https://www.dinheirovivo.pt/empresas/lucro-da-vista-alegre-duplica-para-37-milhoes-de-euros-ate-junho/>.
[cited on p. 2]
- [20] A. Rocha, “Como a automatização dos processos melhora a produtividade,” Março 2018. <https://multipeers.itpeers.com/2018/03/06/automatizacao-dos-processos-produtividade/>. [cited on p. 2]
- [21] C-Studio, “Automação de processos. o que tem a sua empresa a ganhar?,” Setembro 2017. <https://www.jornaldenegocios.pt/transformacao-digital/detalhe/automacao-de-processos-o-que-tem-a-sua-empresa-a-ganhar>.
[cited on p. 2]
- [22] M. S. Glenn H. Snyder, Matt Adams, “The automation evolution,” Julho 2012. <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/deloitte-review/issue-11/the-automation-evolution-in-manufacturing.html>.
[cited on p. 9]

- [23] H. D. V. P. Jay Lee, Jaskaran Singh, “Industrial artificial intelligence for industry 4.0-based manufacturing systems,” Junho 2018. https://www.researchgate.net/publication/327557176_Industrial_Artificial_Intelligence_for_Industry_40-based_Manufacturing_Systems. [cited on p. 10]
- [24] P. d. S. F. Regina Amaral Aires, Fernanda Kempner-Moreira, “Indústria 4.0: Desafios e tendências para a gestão do conhecimento,” Dezembro 2018. <http://anais.suceg.ufsc.br/index.php/suceg/article/view/49>. [cited on p. 10]
- [25] A. K. Vasja Roblek, Maja Meško, “A complex view of industry 4.0,” Junho 2018. <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/2158244016653987>. [cited on p. 10]
- [26] ISO, “Iso 8373:2012,” 2012. [cited on p. 10]
- [27] K. P. Balkeshwar Singh, N. Sellappan, “Evolution of industrial robots and their applications,” Maio 2013. <https://pdfs.semanticscholar.org/a30d/514efd157dba6f385135eda5d8dad3988bf.pdf>. [cited on p. 11]
- [28] Pickit, “Evolution of industrial robots and their applications.” <https://blog.pickit3d.com/cobots-a-growth-market-within-a-growth-market>. [cited on p. 11]
- [29] C. B. Silveira, “Os 6 principais tipos de robôs industriais.” <https://www.citisystems.com.br/tipos-de-robos/>. [cited on p. 12]
- [30] ABB, “Product specification irb 910sc,” Outubro 2018. <https://library.e.abb.com/public/850aec383e3c4c53bf1e2fa1f0878dfc/3HAC056431%20PS%20IRB%20910SC-en.pdf>. [cited on p. 17]
- [31] ABB, “Irb 910sc scara.” <https://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/irb-910sc>. [cited on p. 17]
- [32] FANUC, “Robô scara sr-3ia.” <https://www.fanuc.eu/pt/pt/robôs/página-filtro-robôs/scara-series/scara-sr-3ia>. [cited on p. 17]
- [33] FANUC, “Robô sr-6ia scara.” <https://www.fanuc.eu/pt/pt/robôs/página-filtro-robôs/scara-series/scara-sr-6ia>. [cited on p. 17]
- [34] FANUC, “Robô sr-6ia scara.” <https://www.fanuc.eu/pt/pt/robôs/página-filtro-robôs/scara-series/scara-sr-6ia>. [cited on p. 17]
- [35] KUKA, “Kr 5 scara.” <https://www.google.pt/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjrxLXs8aH1AhUtxYUKHRORCboQFjABegQIABAC&url=https%3A%3A>

- 2F%2Fwww.kuka.com%2F-%2Fmedia%2Fkuka-downloads%2Fimported%
2F6b77eecacfe542d3b736af377562ecaa%2Fpf0056_kr_5_scara_en.pdf&
usg=A0vVaw1Y3UWgjHknVlgVE-uk5asc. [cited on p. 17]
- [36] KUKA, “Kr 10 scara r600, r850 wp.” https://www.google.pt/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=11&ved=2ahUKEwj9pPvc8qH1AhUNhxoKHfdBCRwQFjAKegQIBBAC&url=https%3A%2F%2Fwww.kuka.com%2F-%2Fmedia%2Fkuka-downloads%2Fimported%2F48ec812b1b2947898ac2598aff70abc0%2Fspez_kr_10_scara_wp_en.pdf%3Fmodified%3D-1141164740&usg=A0vVaw1JK1e8LtI4mzm1IsddoA54. [cited on p. 17]
- [37] Epson, “Epson scara g1-171s.” <https://www.epson.pt/products/robot/epson-scara-g1-171s#specifications>. [cited on p. 17]
- [38] Epson, “Epson scara t3-401s with built-in controller.” <https://www.epson.pt/products/robot/epson-scara-t3-401s-with-controller-built-in#specifications>. [cited on p. 17]
- [39] Epson, “Epson scara ls6-602s with rc90 controller.” <https://www.epson.pt/products/robot/epson-scara-ls6-602s-with-rc90-controller#specifications>. [cited on p. 17]
- [40] Epson, “Epson rc90 controller.” <https://epson.com/For-Work/Robots/Controllers/Epson-RC90-Controller/p/R2168332>. [cited on p. 17]
- [41] Epson, “Epson scara g6-653s.” <https://www.epson.pt/products/robot/epson-scara-g6-653s#specifications>. [cited on p. 17]
- [42] Epson, “Epson rc700 controller.” <https://epson.com/For-Work/Robots/Controllers/Epson-RC700A-Controller/p/R2170011>. [cited on p. 17]
- [43] Mitsubishi, “Horizontal type robot.” <https://www.mitsubishielectric.com/fa/products/rbt/robot/pmerit/horizontal/spec.html>. [cited on p. 20]
- [44] J. Montague, “Machine safety is elemental for new automated systems,” Maio 2014. <https://www.controldesign.com/articles/2014/machine-safety-is-elemental-for-new-automated-systems/>. [cited on p. 95]
- [45] J. Montague, “Machine safety pays its way,” Maio 2013. <https://www.controldesign.com/articles/2013/montague-safety-pays-its-way/>. [cited on p. 95]

Anexo A

Vista de Cima da Máquina



Anexo B

Listagem de Robôs Por Marca

Marca	Modelo	Alcance H. (mm)	Alcance V. (mm)	Carga (kg)	Repetibilidade X – Y (mm)	Repetibilidade Z (mm)	Repetibilidade U	Repetibilidade De Posição (mm)
ABB	435-135	450	180	3 (Máx. 6)	n.a.	n.a.	n.a.	± 0,01
	435-136	550						
	435-137	650						
Epson	G1-171S	175	100	0,5 (Máx. 1)	± 0,005	± 0,01	± 0,01°	n.a.
	T3-401S	400	150	1 (Máx. 3)	± 0,02	± 0,02	± 0,02°	
	LS6-602S	600	200	2 (Máx. 6)	± 0,02	± 0,01	± 0,01°	
	G6-653S	650	330	3 (Máx. 6)	± 0,015		± 0,005°	
	G20-A04S	1000	420	10 (Máx. 20)	± 0,02	± 0,004°	n.a.	
	RH-3FRH3515	350	150	1 (Máx. 3)	± 0,010			
RH-6FRH5534	550	340	3 (Máx. 6)	± 0,012				
FANUC	RH-20FRH10045	1000	450	5 (Máx. 20)	± 0,020	± 0,01	± 0,004°	n.a.
	SR-3iA	400	200	3	± 0,01			
	SR-6iA	650	210	6				
KUKA	KR 5 SCARA R350	350	200	5	n.a.	n.a.	n.a.	± 0,010
	KR 10 SCARA R850	850	400	10				± 0,025

Anexo C

Fluxograma do Ciclo Automático do Robô Epson SCARA G6

