

**isec**  
**Engenharia**

DEFINITIVO

MESTRADO EM ENGENHARIA  
MECÂNICA

**A importância do robô colaborativo na  
indústria**

Autor

**David Filipe Pereira Trindade**

Orientador

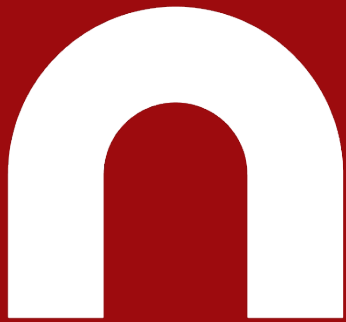
**Fernando António Gaspar Simões**

Professor Coordenador do ISEC

INSTITUTO POLITÉCNICO  
DE COIMBRA

INSTITUTO SUPERIOR  
DE ENGENHARIA  
DE COIMBRA

Coimbra, Setembro 2021



# isec

## Engenharia

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

### **A importância do robô colaborativo na indústria**

Relatório de Estágio de Natureza Profissional para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica  
Especialização em Construção e Manutenção de Equipamentos Mecânicos

Autor

**David Filipe Pereira Trindade**

Orientador

**Fernando António Gaspar Simões**

Professor Coordenador do ISEC

Supervisor na empresa *Tojaltec*

**Cândido Roque**

INSTITUTO POLITÉCNICO  
DE COIMBRA

INSTITUTO SUPERIOR  
DE ENGENHARIA  
DE COIMBRA

Coimbra, Setembro 2021

## AGRADECIMENTOS

Ao Professor Fernando Simões, meu orientador, pela oportunidade de poder trabalhar ao seu lado, pela partilha de conhecimento, por todas as correções e sugestões relevantes, e acima de tudo pelo acompanhamento constante e paciência, sem os quais teria sido impossível realizar este trabalho.

À empresa *Tojaltec*, em especial ao Sócio-gerente Cândido Roque, pelo excelente acolhimento e orientação ao longo destes 8 meses e pela experiência enriquecedora que me proporcionaram, tornando-me um Engenheiro mais apto e conhecedor.

Ao meu colega Hélder Neves, pela orientação no setor de Montagem, transmitindo-me valiosos conhecimentos que com certeza aplicarei diariamente ao longo do meu percurso como Engenheiro.

Aos meus pais e avós, sem os quais não teria sido possível chegar até aqui. Agradeço por me terem proporcionado esta experiência, pelo apoio incondicional, por acreditarem em mim mais do que eu próprio, por me proporcionarem o melhor ambiente possível e terem estado sempre disponíveis para me ajudar e facilitar os meus dias mais complicados. Se hoje estou aqui, devo-vos isso a vocês.

À minha noiva, não só pela colaboração e todos os conselhos/ retificações ao longo deste trabalho, mas acima de tudo por ser a minha segunda casa, por não me deixar desistir, por toda a ajuda e compreensão demonstrada ao longo destes anos, por toda a amizade, por estar sempre presente. O meu sucesso não seria possível sem ti.

A todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

## RESUMO

Atendendo ao dinamismo e constante evolução da indústria, esta tem vindo a ser alvo de inúmeras transformações ao longo dos anos, nomeadamente nas revoluções industriais, tendo como alvo o aumento da produtividade recorrendo às novas tecnologias. Neste contexto, surge a área da robótica, com uma ampla e diversa área de aplicação no mundo industrial, por exemplo através da utilização de robôs colaborativos: robôs que permitem a realização das suas tarefas em cooperação e sinergia com o humano, aumentando a efetividade e rentabilidade dos processos industriais.

Dado o interesse por esta área, o estágio curricular do Mestrado em Engenharia Mecânica, especialização em Construção e Manutenção de Equipamentos Mecânicos foi desenvolvido na empresa *Tojaltec*, que tem como principal atividade a criação de máquinas industriais.

O estágio teve como principais objetivos adquirir um conhecimento geral da atividade da empresa, das principais funções de cada setor, desenvolver tarefas específicas a determinados setores, e colaborar no desenvolvimento de projetos específicos da empresa. Foram adquiridos conhecimentos sobre todos os procedimentos essenciais na criação de uma máquina industrial, desde o projeto, à encomenda, à maquinação, ao tratamento dos materiais, à montagem até à programação robótica. No entanto, as principais contribuições da empresa para aprimorar as aptidões desenvolvidas, estão relacionadas com o projeto “Bancada Flexibowl”: uma bancada de apresentação para um robô colaborativo e um sistema de vibração representado pela *Tojaltec* (Flexibowl). Com a realização deste projeto, demonstrou-se a acessibilidade da programação de um robô colaborativo e a facilidade de utilização do mesmo pelo operador, comprovando-se a imensa vantagem competitiva trazida pela adaptabilidade da robótica colaborativa para as pequenas e médias empresas.

Considera-se que a realização do estágio curricular foi uma mais-valia em termos de aplicação e aquisição de conhecimentos na área da montagem de estruturas mecânicas e de programação robótica assim como na obtenção de experiência profissional.

**Palavras-Chave:** Robô, Robô colaborativo, Indústria 4.0, Flexibowl

## ABSTRACT

Given the dynamism and constant evolution of the industry, it has suffered numerous transformations over the industrial revolutions towards the use of new technologies for increasing productivity. In this context, the area of robotics has emerged with numerous industrial applications using collaborative robots that carry out their tasks in cooperation and synergy with humans, augmenting the effectiveness and profitability of industrial processes.

The curricular internship of the Master's Degree in Mechanical Engineering, Specialization in Construction and Maintenance of Mechanical Equipments, was developed at the company *Tojaltec*, whose main activity is the manufacture of industrial machines.

The main objectives of the internship were to acquire a general knowledge of the company's activity and the main functions of each sector, to develop tasks for certain sectors, and to collaborate in the development of the company's projects. Knowledge was acquired on all the essential procedures for creating an industrial machine, from design, ordering, machining, material handling, assembly to robotic programming. However, the company's main contributions to improve the developed skills are related to the "Bancada Flexibowl" project: a presentation bench for a collaborative robot and a vibration system represented by Tojaltec (Flexibowl). With this project, the accessibility of programming a collaborative robot and its ease of use by the operator was demonstrated, proving the immense competitive advantage brought by the adaptability of collaborative robotics for small and medium-sized companies.

It is considered that the completion of the curricular internship was a valued opportunity in terms of application and acquisition of knowledge in the assembly of mechanical structures and robotic programming, as well as in obtaining professional experience.

**Keywords:** Robot, Collaborative robot, 4.0 Industry, Flexibowl

## ÍNDICE

<b>CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
1.1 – Objetivos do estágio	1
1.2 – A empresa Tojaltec	1
1.3 – Estrutura do relatório	4
<b>CAPÍTULO 2: ENQUADRAMENTO TEÓRICO DAS ATIVIDADES DESENVOLVIDAS DURANTE O ESTÁGIO CURRICULAR</b>	<b>5</b>
<b>2.1 – O robô</b>	<b>5</b>
2.1.1 – História da robótica	5
2.1.2 – Implementação dos robôs na indústria	6
2.1.3 – Composição de um robô industrial	8
2.1.4 – Principais tipos de robôs industriais	12
2.1.5 – Robôs industriais VS robôs colaborativos	15
<b>2.2 – A indústria 4.0</b>	<b>22</b>
2.2.1 – História da indústria	22
2.2.2 – Caracterização da indústria 4.0	23
2.2.3 – Principais pilares da indústria 4.0	25
<b>CAPÍTULO 3: ATIVIDADES DESENVOLVIDAS DURANTE O ESTÁGIO CURRICULAR</b>	<b>31</b>
<b>3.1 – Setor de Maquinação</b>	<b>31</b>
<b>3.2 – Setor de Montagem</b>	<b>33</b>
<b>3.3 – Projeto: Bancada Flexibowl</b>	<b>37</b>
3.3.1 – Introdução do Projeto	37
3.3.2 – Procedimento de desenvolvimento do Projeto	37
3.3.2.1 – Planeamento	37
3.3.2.2 – Execução	37
3.3.2.3 – Controlo de Componentes Fabricados Externamente	38
3.3.3 – Elaboração do Projeto	38
3.3.3.1 – Modelação	38
3.3.3.2 – Componentes	42
3.3.3.3 – Impressão 3D	45
3.3.3.4 – Encomenda	48
3.3.3.5 – Montagem	50
3.3.3.6 – Programação	52

<b>CAPÍTULO 4: CONCLUSÃO</b>	<b>66</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>68</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>71</b>
<b>Anexo 1 – Programação do Robô do Projeto: Bancada Flexibowl</b>	<b>71</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: A) Sistema vibratório Vibrain, B) Máquina industrial com Vibrain.....	4
Figura 2: Robô Unimate - o primeiro robô industrial .....	5
Figura 3: Ranking dos 14 maiores fabricantes mundiais de robôs industriais .....	6
Figura 4: Fornecimento anual de robôs por indústrias entre 2015 e 2017.....	7
Figura 5: Fornecimento anual de robôs industriais por regiões .....	7
Figura 6: Braço robótico.....	8
Figura 7: Elos e Juntas.....	9
Figura 8: Sensor de distância.....	9
Figura 9: Potenciômetro .....	10
Figura 10: Controlador de um robô industrial.....	10
Figura 11: Robôs articulados .....	12
Figura 12: Robôs cartesianos .....	13
Figura 13: Robôs cilíndricos.....	13
Figura 14: Robôs polares .....	14
Figura 15: Robôs SCARA .....	14
Figura 16: Robôs Delta .....	14
Figura 17: Sistemas de interação entre humanos e robôs.....	16
Figura 18: Figura ilustrativa do modo “Paragem de Segurança Vigiada” .....	19
Figura 19: Figura ilustrativa do modo “Guiamento Manual STOP” .....	20
Figura 20: Figura ilustrativa do modo “Limitação da Força e Potência” .....	20
Figura 21: Figura ilustrativa do modo “Monitorização da Distância e Velocidade” ...	20
Figura 22: Robô colaborativo da Universal Robots.....	21
Figura 23: Revoluções Industriais .....	22
Figura 24: Smart Factory.....	23
Figura 25: 6 benefícios da Indústria 4.0 .....	24
Figura 26: Internet of Things .....	25
Figura 27: Big Data Analytics .....	26
Figura 28: Segurança na Indústria 4.0 .....	27
Figura 29: Impressão 3D na Indústria 4.0 .....	28

Figura 30: Robôs autónomos na Indústria 4.0 .....	28
Figura 31: Realidade aumentada na Indústria 4.0 .....	29
Figura 32: Simulação virtual.....	30
Figura 33: Cloud Computing no fabrico.....	30
Figura 34: Acabamento de peças realizado pelo estagiário .....	31
Figura 35: Fresadoras CNC - Tojaltec .....	32
Figura 36: Peça maquinada pelo estagiário.....	33
Figura 37: JIG - A: sistema de fixação de tubos, B: atuadores pneumáticos.....	34
Figura 38: Tampos em MDF com revestimento fenólico.....	35
Figura 39: Material destinado ao projeto.....	36
Figura 40: Projeto final - banca para suporte de material em exposição .....	36
Figura 41: A) Modelo em Solidworks - fase inicial, B) Modelo em Solidworks - Caixa para colocação do elemento recetor de peças .....	39
Figura 42: Modelo em Solidworks - primeiras alterações .....	40
Figura 43: Modelo em Solidworks - fase final .....	40
Figura 44: Modelo em Solidworks - Projeto final.....	41
Figura 45: Modelo em Solidworks - vista do operador .....	41
Figura 46: Dados dos rodízios aplicados .....	43
Figura 47: Suporte para o robô .....	43
Figura 48: Elemento de ligação do Flexibowl ao tampo.....	44
Figura 49: Elemento de ligação do rodízio à estrutura metálica .....	44
Figura 50: Elementos sustentadores dos tampos MDF .....	45
Figura 51: Peça para cobertura do cabo do controlador.....	45
Figura 52: Peças para impressão 3D.....	46
Figura 53: Componente estética do sistema de ventilação.....	46
Figura 54: Caixa para colocação das peças .....	47
Figura 55: Placa identificadora do projeto.....	47
Figura 56: Estrutura finalizada .....	50
Figura 57: A) Porcas hexagonais M5, B) Elemento de fixação do braço robótico, C) Elemento de fixação da garra pneumática.....	51
Figura 58: Garra pneumática acoplada no robô.....	52
Figura 59: Capacidade de carga do robô UR3.....	52

Figura 60: Menu principal (robô UR3).....	53
Figura 61: Menu de instalação (robô UR3) .....	54
Figura 62: Criação do programa .....	54
Figura 63: Criação de waypoints.....	55
Figura 64: Botão Teach.....	55
Figura 65: Movimento Teach.....	56
Figura 66: Confirmação de waypoint.....	56
Figura 67: Movimento do braço robótico.....	57
Figura 68: Adicionar waypoint.....	58
Figura 69: Adicionar subprograma .....	59
Figura 70: Definir "digital input" .....	59
Figura 71: Definir tempo de espera.....	60
Figura 72: Subprogramas "abrir" e "fechar" garra pneumática .....	60
Figura 73: Processo de "Pick and Place" .....	61
Figura 74: Invocar subprograma .....	62
Figura 75: Flexibowl .....	63
Figura 76: Ligação entre o computador e o Flexibowl .....	64
Figura 77: Programação do Flexibowl.....	65

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Código de Cores – Tojaltec.....	3
Tabela 2: Tipos de Atuadores .....	11
Tabela 3: Robô industrial VS Robô colaborativo.....	18
Tabela 4: Dados técnicos do rodízio .....	42
Tabela 5: Material para encomenda.....	49

## **SIMBOLOGIA E ABREVIATURAS**

IDI – Investigação, Desenvolvimento e Inovação

3D - 3 Dimensões

ISO – International Organization for Standardization

CNC – Computerized Numerical Control

AISI – American Iron and Steel Institute

DIN – Deutsches Institut für Normung

PID – Proportional Integral Derivative

LCD – Liquid Crystal Display

PL D – Performance Level D

MiT - Massachusetts institute of Technology

TI - Tecnologia da Informação

WEF – World Economic Forum

IoT – Internet of Things

IoS – Internet of Services

MtM – Machine to Machine

MDF – Medium Density F

UR3 – Universal Robot 3

RP - Responsável de Planeamento

RPOP - Responsável de Planeamento e Organização de Projeto

2D - 2 Dimensões

ABS – Acrylonitrile Butadiene Styrene

PLA – Polylactic Acid

## **CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO**

### **1.1 – Objetivos do estágio**

O presente Estágio Curricular tem como objetivo aprofundar e consolidar a formação adquirida no Mestrado em Engenharia Mecânica e aplicá-la em contexto de trabalho, tendo ainda em mente o desenvolvimento de aptidões maioritariamente de contexto prático, através da integração do estagiário nas atividades da empresa *Tojaltec*, em particular na vertente de construção e dimensionamento de máquinas industriais e respetiva programação.

Em colaboração com a empresa realizou-se um plano de trabalho com os seguintes objetivos:

- Adquirir um conhecimento geral da atividade da empresa e conhecer as principais funções de cada setor;
- Presenciar as várias fases do processo de criação de uma máquina industrial, desde o projeto, à encomenda de materiais, à maquinação, ao tratamento dos materiais, à montagem até à programação robótica correspondente, percorrendo deste modo todos os setores da empresa;
- Colaborar no desenvolvimento de um projeto específico, participando em todas as etapas da sua elaboração como parte ativa;
- Desenvolver tarefas, específicas propostas pelos responsáveis/ colaboradores de cada um dos setores da empresa em que teve oportunidade de desenvolver competências;
- Realização de um projeto individual, nomeadamente uma bancada para exposição acoplada a um robô colaborativo e um sistema vibratório Flexibowl.

### **1.2 – A empresa Tojaltec**

O presente relatório é referente ao estágio realizado entre 12 Outubro de 2020 e 12 de Junho de 2021 para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, na área de construção e manutenção de equipamentos mecânicos.

A *Tojaltec - Fabrico de Máquinas, Lda*, instituição de acolhimento do estagiário, tem a sua sede em Vilar de Besteiros, Tondela, no distrito de Viseu. Trata-se de uma empresa dinâmica, com experiência na conceção de máquinas industriais, adaptadas às necessidades dos mais variados clientes, com mais de 20 anos de experiência em mercados nacionais e internacionais (*Tojaltec, 2021a*).

É composta por três níveis organizacionais (*Tojaltec, 2021b*):

- Gerência;
- Departamento Financeiro, Planejamento e Recursos Humanos;
- Qualidade e IDI, Sistemas de informação, Comercial, Desenvolvimento, Maquinação, Produção, Programação e Compras.

Com cerca de 30 colaboradores, distribuídos pelas diversas áreas da engenharia, a empresa é especializada no desenvolvimento de todo o processo de construção de máquinas: desde a concepção do projeto 3D, à execução e maquinação de peças, realizando os processos de montagem (elétrica, pneumática, hidráulica, mecânica) e finalizando com programação do mais alto nível, adaptada às exigências do cliente – (*Tojaltec, 2021c*). Divididos por grupos responsáveis por determinados projetos (incluindo elementos da produção, eletricitas, engenheiros, etc), na *Tojaltec* reúnem-se a cada 2 semanas para exposição do estado atual de cada projeto, discutindo-se aspetos não só técnicos como também logísticos, de modo a rentabilizar da melhor forma cada um dos projetos. Estes processos encontram-se enquadrados num sistema de gestão da qualidade dinâmico e integrado na *Tojaltec*, sendo a empresa reconhecida pela sua certificação na ISO 9001:2008 (*Tojaltec, 2021a*).

Na *Tojaltec*, encontra-se ainda uma diversa oferta de serviços: fabrico CNC com produtos fabricados em materiais metálicos (aços, ligas de alumínio, cobre, etc) e em diversos materiais poliméricos, consultoria industrial, concepção de projetos mecânicos, engenharia industrial e retrofitting. Nesta empresa, todos os intervenientes trabalham no sentido de criar e desenvolver soluções tecnológicas com o objetivo de assegurar a produtividade e a sustentabilidade das empresas parceiras, contribuindo desta forma para o seu progresso e assegurando a satisfação das suas exigências. Neste processo, é ainda garantido o envolvimento positivo de todos os colaboradores numa melhoria contínua do sistema de gestão, aumentando assim o volume de negócios e proporcionando o desenvolvimento da competitividade, sustentabilidade e modernização (*Tojaltec, 2021d*).

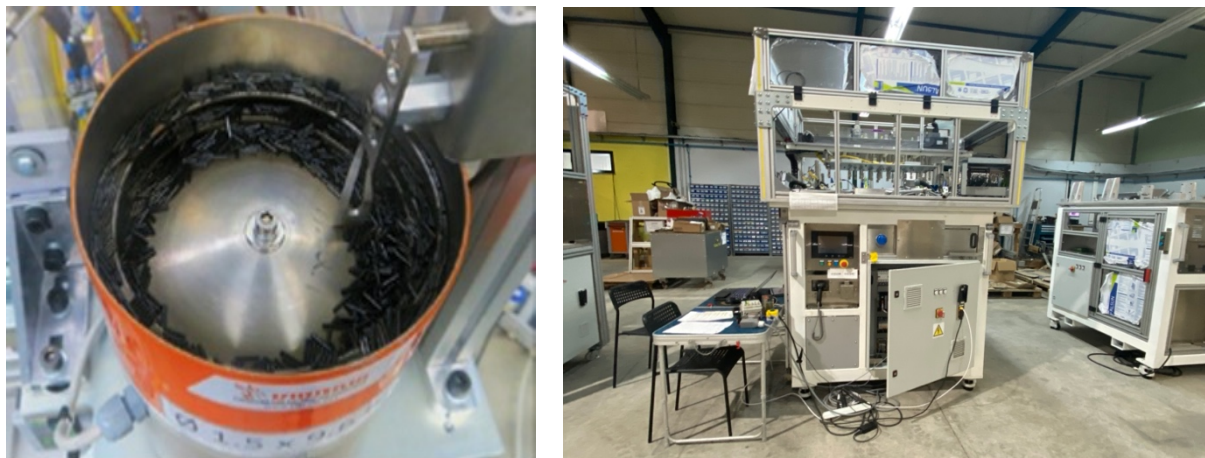
Na empresa *Tojaltec*, um dos sistemas de organização interna é a atribuição de determinadas cores aos tipos de materiais utilizados em cada projeto, conforme apresentado na Tabela 1. Assim, todos os colaboradores, desde o responsável pela montagem até aos elementos responsáveis pela encomenda dos materiais, conseguem ter acesso às especificações de cada projeto, sabendo qual o material que o projetista idealizou para determinada secção do projeto. Torna-se assim todo o processo mais fluido, permitindo terminar o projeto com maior celeridade. Para além do referido, o facto de se encontrarem previamente introduzidos os materiais utilizados na empresa na base de dados do Solidworks, permite estimar o peso total ou outros parâmetros do projeto concluído.

Tabela 1: Código de Cores – Tojaltec

Designação técnica/comercial	Caracterização	Cor atribuída no projeto	Tratamento Químico ou Térmico	Aplicação Usual	
Aço de construção F10	Aço não ligado 0,45%C	Verde	Nitruração Zincar	Uso geral	
Aço ligado	BCW	Aço ligado 0,9%C	Laranja	Nitruração Temperar Zincar	Peças de desgaste
	C265	Aço ferramenta 12% crómio	Vermelho	Nitruração Temperar Zincar	Peças de desgaste
Liga de Alumínio AW5083	AlMg4.5Mn0.7	Cinzento	-	Indústria alimentar	
Aço inoxidável R304	Aço inoxidável austenítico	Rosa	-	Indústria alimentar	
PLA	Poliamida Tipo 6	Amarelo	-	Uso Geral - Fabrico por Maquinagem	
Chapa de aço S235JR	Aço não ligado 0,19%C	Azul	-	Uso Geral - Fabrico por Corte de Laser	
Polycarbonato	Polycarbonato Transparente	Transparente	-	Substituto do vidro	
Alucobond	Painel compósito por 2 chapas de alumínio e núcleo preenchido por minerais	Rosa translúcido	-	Cobertura de máquinas	

Por fim, a *Tojaltec* possui ainda uma marca própria, a *Vibrain*, que constrói sistemas vibratórios ideais para a orientação e controlo de peças para processos mecânicos (Figura 1A) (*Tojaltec, 2021e*). Este, consiste num sistema vibratório de alimentação, imprimindo um movimento ascendente em espiral, encaminhando desta forma as peças por um percurso fixo. Trata-se de uma das soluções mais frequentemente utilizada nos seios industriais (*Tojaltec, 2021e*), referindo-se como exemplo a máquina industrial desenvolvida durante o estágio (Figura 1B) cujo propósito seria a sua colocação numa linha de produção de peças de injeção, para a aplicação de molas

tipo aplique: neste caso, o robô industrial iria captar as molas do sistema vibratório e aplicá-las no molde.



**Figura 1: A) Sistema vibratório Vibrain, B) Máquina industrial com Vibrain**

(Figura 1A retirada de: <http://www.tojaltec.com/vibrain.html>)

### 1.3 – Estrutura do relatório

Este relatório está estruturado de acordo com os principais objetivos e encontra-se dividido em quatro capítulos.

No Capítulo 1 encontram-se representados os objetivos e expectativas para o estágio curricular. É ainda feita uma breve descrição da empresa e da estrutura global do relatório.

No Capítulo 2 é apresentado o enquadramento teórico dos principais trabalhos desenvolvidos durante o estágio. Inicia-se com uma exposição de conteúdos teóricos sobre robótica, desde o contexto histórico à distinção entre robôs industriais e colaborativos. Seguidamente, encontram-se algumas noções sobre a indústria 4.0, nomeadamente o enquadramento histórico, a sua caracterização e os seus principais pilares.

O Capítulo 3 está organizado de acordo com os vários setores que o formando percorreu, terminando com o projeto final desenvolvido pelo estagiário. Em cada subcapítulo é descrito o funcionamento do setor correspondente, consoante a aprendizagem obtida durante o estágio curricular, havendo ainda lugar para a menção e descrição dos trabalhos desenvolvidos em cada setor. No último subcapítulo, apresenta-se a bancada produzida pelo estagiário para apresentação de um robô colaborativo (UR3) e um sistema de vibração (Flexibowl), descrevendo-se todos os passos desde o projeto à sua execução.

Por fim, no Capítulo 4 são apresentadas as principais conclusões retidas deste relatório e do período de estágio.

## CAPÍTULO 2: ENQUADRAMENTO TEÓRICO DAS ATIVIDADES DESENVOLVIDAS DURANTE O ESTÁGIO CURRICULAR

### 2.1 – O robô

#### 2.1.1 – História da robótica

Desde sempre, o ser humano procurou tornar mais prática, rápida e eficiente a execução das mais variadas tarefas, recorrendo a objetos inovadores, por exemplo, os robôs. O termo “robô” tem origem na obra de Karel Capek, derivado da palavra checa “*robot*”, que significa “trabalhos forçados” (Silva, R, 2012). Mais tarde, este termo foi adotado para designar um mecanismo automático que realiza tarefas humanas. Em regra, um robô é associado a outros objetos mecânicos e/ou dispositivos que possam ser programados, para no futuro o manusearem e realizarem as ditas atividades.

Leonardo Da Vinci apresentou-se como um dos pioneiros da área da robótica, tendo inclusivamente sido encontrado um esboço de um robô antropomórfico nos seus manuscritos. Já Isaac Asimov descreve, na década de 50, os principais critérios que um robô deve cumprir. Desde a obrigatoriedade de não causar (ou permitir que outros causem, por omissão de uma tarefa) dano físico ao ser humano, à obediência e ao dever de proteção da sua integridade física (Grau, A et al, 2017).

Ao longo das décadas, tornou-se necessário aprimorar todo o processo de produção dos mais variados objetos do nosso dia a dia, emergindo assim a área da robótica no início do século XX - altura em que ocorreram a Primeira e Segunda Guerras Mundiais (potenciadoras da criação de robôs industriais). O primeiro robô industrial foi desenvolvido por George Devol e Joseph Engelber (Figura 2) para a instalação numa fábrica da General Motors (Pires, J, 2007).



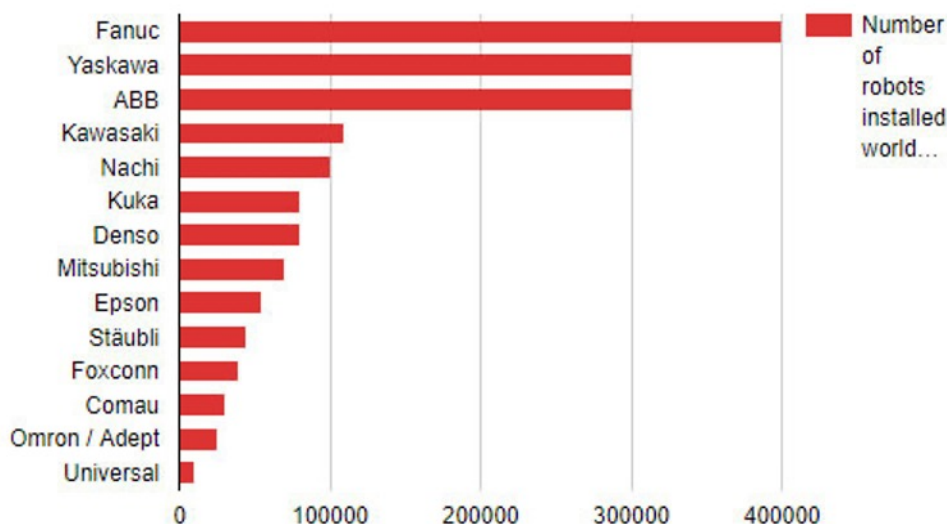
Figura 2: Robô Unimate - o primeiro robô industrial

(Retirada de: <https://www.automate.org/a3-content/joseph-engelberger-unimate>)

Desde então, os robôs sofreram uma evolução exponencial, desde a qualidade de construção, aos materiais usados, aos sistemas de atuação, controladores e até a complexidade das próprias garras. Graças a esta evolução, consegue-se garantir um maior controle do robô, uma melhor reprodutividade das suas ações e uma maior velocidade de produção. No entanto, apesar da evolução verificada a nível da robótica, ainda existe uma grande margem para tornar os robôs mais leves e flexíveis.

### 2.1.2 – Implementação dos robôs na indústria

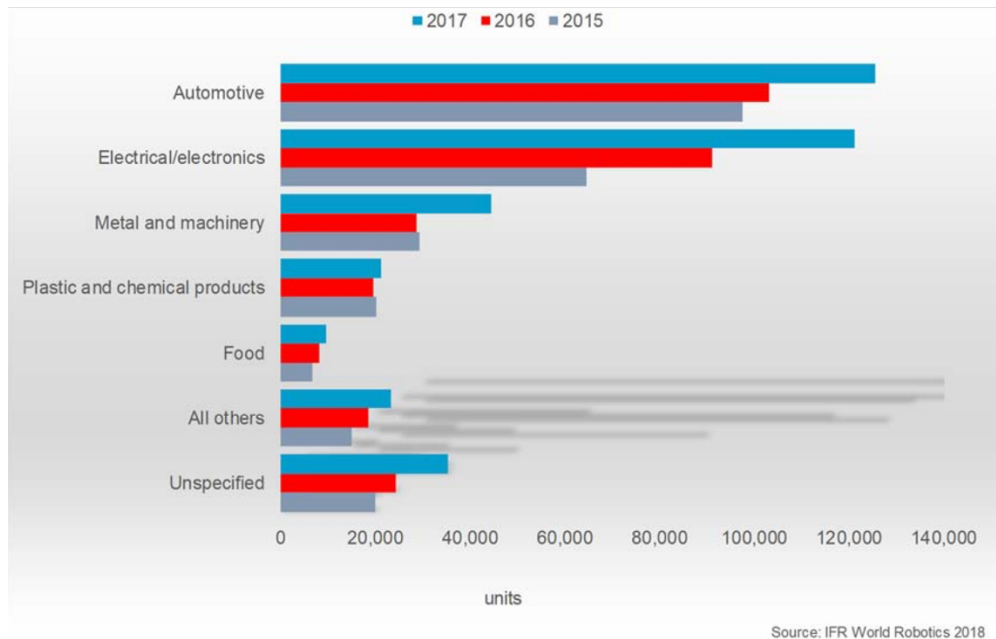
A robótica tem uma ampla e diversa área de aplicação no mundo industrial, desde manipuladores dedicados à soldadura por arco, à pintura, à paletização, etc (Abreu, P, 2002). Dado o aumento da procura de manipuladores industriais por parte dos consumidores, a sua produção tem crescido significativamente. Neste momento, os maiores fornecedores de robôs industriais são a Fanuc, a Yaskawa e a ABB (Figura 3).



**Figura 3: Ranking dos 14 maiores fabricantes mundiais de robôs industriais**

(Retirada de: <https://servnews.com.br/site/ranking-dos-14-maiores-fabricantes-mundiais-de-robos-industriais/>)

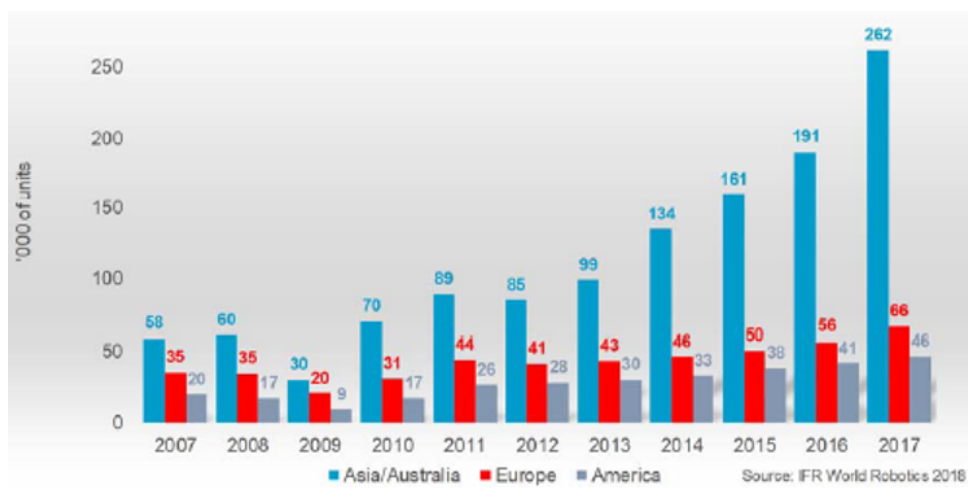
Em 2017, verificou-se um aumento de 30% na venda de robôs, um novo máximo relativo às últimas 5 décadas. Este crescimento é devido, principalmente, à indústria metálica e elétrica/eletrônica. Relativamente à indústria automóvel, a que mais contribui para o mercado da robótica, verificou-se também um aumento de 22% nas vendas (Figura 4).



**Figura 4: Fornecimento anual de robôs por indústrias entre 2015 e 2017**

(Retirada de: *Executive Summary World Robotics 2018 - Industrial Robots*)

A partir de 2010, possivelmente devido ao fenómeno da automação industrial, observou-se um aumento consistente na venda de robôs industriais. Verifica-se ainda que, desde 2013, é na China que se encontra o mercado com a maior procura de robôs, tendo sido vendidas cerca de 137 900 unidades em 2017, um total que ultrapassa o consumo da Europa e América conjugadas (Figura 5).



**Figura 5: Fornecimento anual de robôs industriais por regiões**

(Retirada de: *Executive Summary World Robotics 2018 - Industrial Robots*)

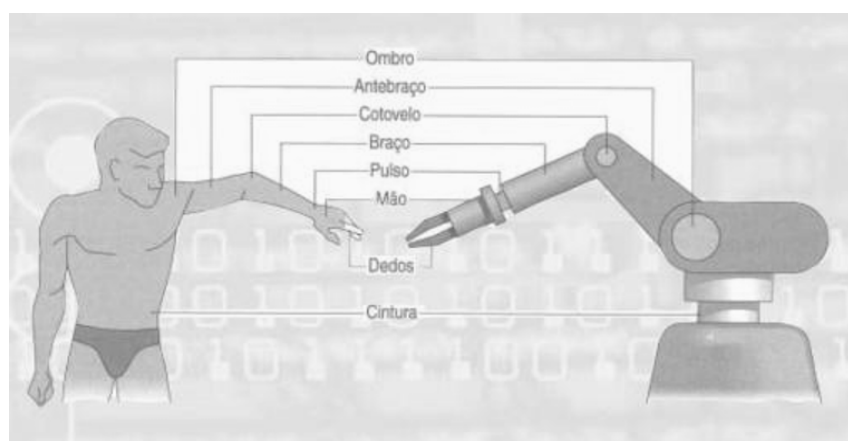
Relativamente a Portugal, terá tomado lugar na década de 80 a instalação do primeiro robô industrial, um ABB IRB6 de cinco eixos, para soldadura por arco, estando em serviço até ao ano 2000. Segundo a Federação Internacional de Robótica, em Portugal os tipos de robôs mais utilizados são os robôs articulados (braços robóticos) com 4 ou mais eixos, e os robôs cartesianos (pórticos) com 3 ou mais eixos, tendo os restantes uma utilização quase vestigial. Na indústria portuguesa, é recorrente a utilização dos robôs, nomeadamente na indústria automóvel (como a *AutoEuropa*) para a montagem de automóveis (*Mineiro, N, 2012*).

### 2.1.3 – Composição de um robô industrial

Os manipuladores industriais tentam simular a ação do braço humano em diversas tarefas, possuindo 7 graus de liberdade: uma junta com 3 graus, seguida por uma junta com 1 grau, terminando com uma junta com 3 graus (*Moura, J, 2012*).

Normalmente, os robôs conseguem adotar qualquer posição e/ou orientação, com exceção dos momentos em que atingem pontos de singularidade: situações em que se verifica uma incompatibilidade entre a ordem do programador e a configuração do robô (*Mendes Lopes, A e Tenreiro Machado, J.A, 2002*).

Seguidamente irão ser apresentados os elementos principais de um braço robótico, conforme apresentado na Figura 6.



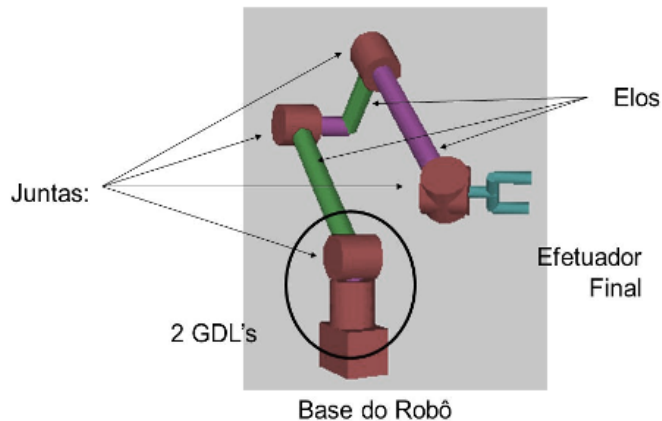
**Figura 6: Braço robótico**

(Alterada de: <https://tegruposete7.wordpress.com/classificacao-dos-robos/>)

#### 1. Braço e punho

Em geral, o braço é o elemento do robô responsável pelo seu posicionamento, tratando-se de um conjunto de blocos alongados rígidos, ligados entre si por juntas, como ilustrado na Figura 7. Por sua vez, o punho é normalmente responsável pela orientação da garra ou outros componentes que estejam unidos à porção terminal do

robô - Santos, V.M.F (2003). No entanto, em determinados casos, poderá ser o punho a determinar o posicionamento do robô e o braço a regular a sua orientação.

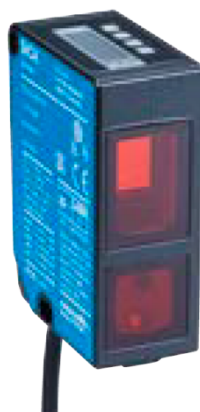


**Figura 7: Elos e Juntas**

(Retirada de: <https://slideplayer.com.br/slide/2440109/>)

## 2. Sensores

Responsáveis por medições dos mais variados parâmetros, como a temperatura, velocidade, pressão, distância, etc, os sensores fornecem a informação ao controlador, que posteriormente trata da sua análise. Podem encontrar-se acoplados ao robô ou ainda, tratarem-se de sensores externos, como é o caso dos sensores de contacto, distância (Figura 8), laser, entre outros (Ribeiro, M.I, 2004).



**Figura 8: Sensor de distância**

(Retirada de: *Soluções de sensores para a robótica - Colaboração no mesmo nível*)

Os sensores mais frequentemente utilizados para a determinação da posição dos elos de um braço robótico são os Encoders (absolutos ou incrementais), responsáveis pela medição da posição angular ou velocidade angular de um eixo rotatório (IFM Electronic, 2021). Conjugadamente, podem ainda ser utilizados os Potenciômetros

(Figura 9): sensores com 3 terminais (dois ligados a um material resistivo, entre o início e o final, e outro ligado a um cursor) que, quando sujeitos a tensão elétrica o terminal início e terminal final, criam uma variação da tensão, inculindo movimento ao cursor (Torres, L.A.B, 2011).

Para além destes, temos ainda disponíveis os Resolvers, mais utilizados para a captação do feedback de um servomotor (Dynapar, 2019).



**Figura 9: Potenciômetro**

(Retirada de: <https://educalingo.com/pt/dic-pt/potenciometro>)

### 3. Controlador

Como ilustrado na Figura 10, um controlador é um dispositivo que recebe e analisa todos os inputs criados pelos sensores incorporados no robô. Assim, através de um algoritmo, é capaz de avaliar a posição do robô, perceber o estado da corrente e entender o ambiente que o rodeia. Após o estudo da informação recebida, o controlador é o responsável por enviar diretrizes para os atuadores, de modo a que o robô realize o movimento desejado. Os algoritmos mais frequentemente utilizados neste processo recorrem ao controlo PID (proporcional - integral - diferencial) (Santos, P.A et al, 2017). É ainda possível utilizar o computador pessoal como extensão do controlador, emitindo ordens através do mesmo, facilitando o processo de programação.



**Figura 10: Controlador de um robô industrial**

(Retirada de: <https://www.directindustry.com/pt/fabricante-industrial/controlador-robo-compacto-102311.html>)

#### 4. Atuadores

Tratam-se de elementos localizados nas juntas do robô, responsáveis por lhe incutir movimento, convertendo a energia elétrica, pneumática ou hidráulica em energia mecânica. Dentro dos atuadores, encontramos 3 variedades: elétricos, pneumáticos e cilindros hidráulicos (*Joseph, L, 2020*), como demonstrado na Tabela 2.

**Tabela 2: Tipos de Atuadores**

(Alterada de: *Robótica Industrial - Departamento de Engenharia Mecânica, U. Aveiro*)

Característica	Tipos de atuadores		
	<i>Elétricos</i>	<i>Hidráulicos</i>	<i>Pneumáticos</i>
<b>Controlo</b>	Fácil. Possibilidade de ser elaborado.	Hoje em dia mais facilitado com as electro servo-válvulas	Muito difícil devido a questões de compressibilidade do ar
<b>Velocidades</b>	Grande	Média/Grande	Muito grande
<b>Binário a baixa velocidade (acelerações)</b>	Pequenos/Médios	Grande	Pequenos
<b>Precisão</b>	Boa. Limitada pelo uso de transmissão	Boa	Má, exceto em operações a posições fixas.
<b>Funcionamento em situação estática</b>	Mau. Requer travões.	Excelente. Trata-se de funcionamento normal.	Bom. Não há risco de danificação do sistema.
<b>Questões ambientais</b>	A presença de arcos elétricos pode ser indesejável.	Perigo de fugas de óleo.	Sistemas limpos. Risco de poluição sonora de componentes, compressores e das fugas.
<b>Custos</b>	Relativamente baixos	Altos	Relativamente baixos

### 2.1.4 – Principais tipos de robôs industriais

Dentro desta categoria, encontramos 6 robôs distintos (*Technavio, 2018*):

1. Robô Articulado
2. Robô Cartesiano
3. Robô Cilíndrico
4. Robô Polar
5. Robô SCARA
6. Robô Delta

O robô mais frequentemente utilizado é o robô articulado (Figura 11). O braço robótico que o caracteriza, simula o braço humano, possuindo desta forma um número elevado de graus de liberdade. Como principais vantagens, aponta-se a sua velocidade (permitindo a utilização de ciclos curtos e com isto um aumento da produtividade na linha de produção), flexibilidade (requerendo um espaço mais reduzido para a realização das suas tarefas) e a facilidade no alinhamento das várias coordenadas. No entanto, os robôs articulados necessitam de controladores específicos, requerem uma programação mais complexa e uma cinemática complicada. Alguns exemplos de aplicações deste tipo de robô são a embalagem de alimentos, a soldagem por arco, a soldagem por ponto, o manuseio de materiais, a montagem automóvel, a paletização, etc (*Technavio, 2018*).



**Figura 11: Robôs articulados**

(Retirado de: <https://www.citisystems.com.br/tipos-de-robos/>)

O robô cartesiano, presente na Figura 12, muito utilizado em operações de Pick and Place, possui um movimento retilíneo, movimentando-se em 3 eixos, idêntico a uma impressora 3D. Útil pela sua enorme capacidade de precisão, facilidade na programação e pelo facto de ser capaz de suportar grandes cargas. Porém, necessita de uma área considerável para o seu funcionamento e apenas permite uma movimentação em cada direção (*Collins, D, 2018*).



**Figura 12: Robôs cartesianos**

(Retirado de: <https://www.citisystems.com.br/tipos-de-robos/>)

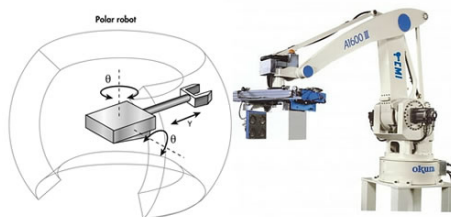
Utilizado em operações simples (como a fundição, o forjamento/ carregamento/ descarregamento de máquinas, o transporte de LCDs), o robô cilíndrico (Figura 13) possui uma articulação rotativa na sua base, uma articulação prismática e um braço extensível, movendo-se tanto na vertical como na horizontal. Com este robô, é possível obter-se um movimento linear quer vertical, quer horizontal, podendo juntar-se ainda uma componente rotativa da base. É de simples instalação e montagem e, tal como o robô articulado, necessita de um espaço reduzido para a execução das suas tarefas (*Technavio, 2018*).



**Figura 13: Robôs cilíndricos**

(Retirado de: <https://www.citisystems.com.br/tipos-de-robos/>)

O robô polar, também designado robô esférico (Figura 14), possui um eixo articulado central e um braço extensível, permitindo a conjugação de um movimento linear com dois movimentos rotacionais, através de um sistema de coordenadas polares. A principal vantagem deste tipo de robô é o seu elevado poder de alcance (mesmo na presença de obstáculos no trajeto), no entanto, devido à incapacidade de atingir objetos fora do seu eixo, não é atualmente um dos robôs mais solicitados (*Technavio, 2018*).



**Figura 14: Robôs polares**

(Retirado de: <https://www.citisystems.com.br/tipos-de-robos/>)

Frequentemente utilizado em operações de montagem, o robô SCARA é caracterizado pela sua reprodutibilidade, velocidade e capacidade de abranger grandes áreas de trabalho. Os eixos deste robô são posicionados na vertical, acoplados a um braço horizontal, formando um anel, como ilustrado na Figura 15. Assim, o robô SCARA permite uma diversidade de movimentos, apenas em superfícies planas, tratando-se esta da sua principal desvantagem (FANUC, 2020).



**Figura 15: Robôs SCARA**

(Retirado de: <https://www.citisystems.com.br/tipos-de-robos/>)

Por fim, existem ainda os robôs Delta (Figura 16), com uma morfologia tipicamente aracnóide: vários elementos de ligação agregados a uma placa principal. Caracteriza-se pela sua velocidade na execução de processos, sendo regularmente utilizados para aplicações rápidas de Pick and Place, e pela sua elevada precisão. Porém, este tipo de robô possui uma operação complexa, requerendo um controlador dedicado a este tipo de programação (Technavio, 2018).



**Figura 16: Robôs Delta**

(Retirado de: <https://www.citisystems.com.br/tipos-de-robos/>)

### 2.1.5 – Robôs industriais VS robôs colaborativos

A segurança dos robôs industriais é uma das suas principais problemáticas. Para ultrapassar esta adversidade, foram introduzidas normas e diretivas para salvaguardar a integridade dos trabalhadores que executam tarefas na periferia do robô, nomeadamente (*Pilz, 2018*):

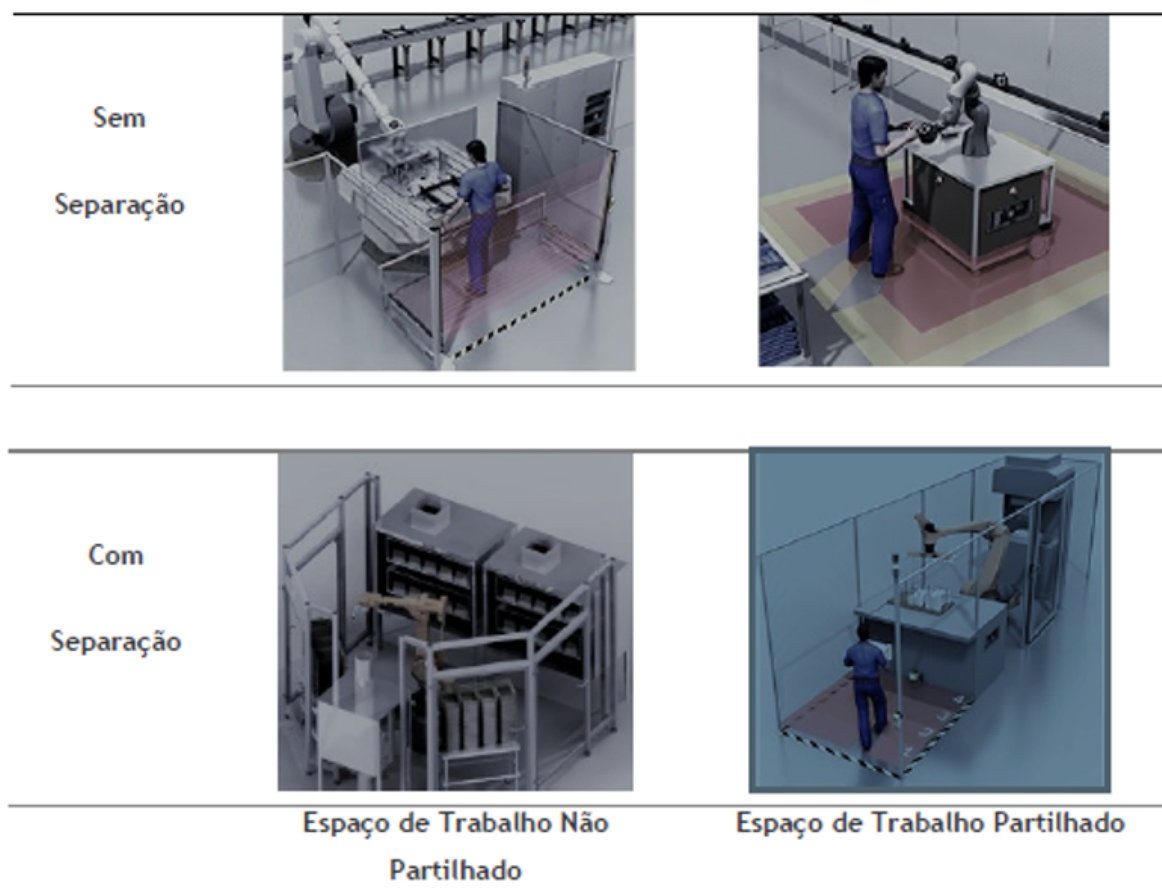
- ISO 10218: Robôs e dispositivos robóticos – requisitos de segurança para robôs industriais – Parte 1: Robôs/ Parte 2: Sistemas de robôs e integração;
- ISO/TS 15066: Robôs e dispositivos robóticos – Robôs Colaborativos.

Assim, aquando da conceção de uma célula de trabalho, o cumprimento dos padrões de segurança das normas ISO é imprescindível, designadamente a norma ISO 10218, apresentada em 2011, cujo tema são os robôs industriais tradicionais (*Pilz, 2018*). Nesta, não há uma menção concreta dos robôs colaborativos, dado tratarem-se de algo recente à data da publicação. A norma dita então a utilização de dispositivos de proteção e o recurso a proteções físicas como meio de separação entre trabalhadores e equipamentos robóticos, preservando assim a integridade dos operadores (*ISO, 2011*).

Em 2016, com a publicação da ISO/TS 15066, reitera-se que pode haver interação entre os meios humanos e os meios robóticos, partilhando o mesmo espaço de trabalho. Esta norma fornece padrões de segurança e de operação para os esquemas de proteção complexos que os robôs colaborativos exigem, especificando os procedimentos de avaliação de risco e os seus limites técnicos/ biomecânicos, criando ainda diretrizes para a documentação técnica da interação entre os operadores e os robôs (*ISO, 2016*).

De acordo com *Thiemermann (2005)*, os sistemas de interação entre humanos e robôs podem ser classificados da forma que a seguir se apresenta e se encontra ilustrada na Figura 17:

- Sistema tradicional: não existe partilha de tarefas e/ou espaço de trabalho entre humanos e robôs;
- Coexistência: humanos e robôs, trabalham em conjunto para realizar um processo, mas não compartilham o espaço de trabalho, sendo as peças transferidas entre as diferentes áreas de trabalho;
- Cooperação: o espaço de trabalho é compartilhado, no entanto, o robô e o humano não realizam tarefas em simultâneo;
- Colaboração: o espaço de trabalho é compartilhado e ambos executam tarefas em simultâneo.



**Figura 17: Sistemas de interação entre humanos e robôs**

(Retirada de: *Roboter-Kooperation in der Kleinteilemontage mit einem SCARA-Roboter*)

A interação entre o robô e o trabalhador é extremamente importante para se poder atingir a maior efetividade e rentabilidade em cada processo. Assim, surge o conceito de robô colaborativo: robôs capazes de trabalhar em conjunto com o ser humano, em segurança, sem barreiras de proteção (dado o cumprimento das normas de segurança aquando da criação do robô) (Pentikainen, T et al, 2016). Dada a problemática da segurança e conseqüente necessidade de profissionais experientes para programar e manusear os robôs industriais, os robôs colaborativos vieram revolucionar a indústria, dando uma resposta eficaz a este obstáculo.

Citando o Institute for Occupational Safety and Health, sediado na Alemanha, os robôs colaborativos, ou cobots, são “máquinas complexas que trabalham lado a lado com os seres humanos; num processo de trabalho partilhado, eles suportam e aliviam o operador humano”. Na própria norma ISO/TS 15066 está patente que o robô colaborativo, pela sua definição, partilha o espaço de trabalho com o operador, realizando ambos as suas tarefas em simultâneo, sem que isto represente um perigo para o trabalhador. Para que isto possa ser possível, na construção destes robôs são incorporados sensores na sua superfície que impedem a colisão com algum objeto ou

pessoa, ou, quando o acidente sucede, que interrompem de imediato a tarefa de modo a não lesionar o trabalhador e o próprio robô (*Platbrood, F e Görnemann, O, 2018*).

A principal vantagem dos robôs colaborativos é então o facto de poderem realizar as suas tarefas em cooperação e sinergia com o humano, permitindo assim uma diminuição do tempo de cada ciclo de produção e conseqüentemente, aumentar o ritmo de fabrico. Um bom exemplo da aplicação destes robôs são os processos que envolvem um elevado grau de repetição: dado o robô ser naturalmente isento de erro humano, pode executar as tarefas repetidamente com maior precisão, dando oportunidade ao trabalhador de se concentrar em tarefas com maior grau de raciocínio ou outras em que seja uma mais valia (*Vagas, M et al, 2015*). A programação dos robôs colaborativos é tipicamente acessível a qualquer trabalhador, recorrendo a interfaces de fácil perceção.

O robô industrial e o robô colaborativo são deste modo divergentes em vários parâmetros, sintetizados na Tabela 3.

**Tabela 3: Análise comparativa do Robô industrial VS Robô colaborativo**

(Alterada de: *A Framework for Collaborative Robot (CoBot) Integration in Advanced Manufacturing Systems*)

<b>Robô Industrial Tradicional</b>	<b>Robô Colaborativo</b>
Instalação Fixa	Instalação Flexível, podem ser realocados após instalação
Tarefas periódicas e repetitivas	Mudanças frequentes de tarefa
Têm de ser programados online ou offline	Não requerem programação, podem ser instruídos online pelos trabalhadores sem nenhuma programação formal
Não é fácil ensinar, para realizar novas tarefas é necessário programação	É fácil ensinar, aprendem novas tarefas com instruções simples através da movimentação do cobot no caminho do movimento desejado e registrando o movimento em sequências
Adquiridos e programados para executar uma tarefa específica	Podem ser facilmente realocados para novas aplicações
Espaço de trabalho separado dos Humanos por grades	Espaço de trabalho partilhado lado-a-lado com Humanos
Interação limitada com os trabalhadores Humanos	Frequente interação com os trabalhadores Humanos
Interação insegura com Humanos	Interação segura com Humanos
Grande investimento, apenas compensa em médias e grandes indústrias	Investimento relativamente baixo, compensa para pequenas e médias empresas
Tamanho variável, grandes ou pequenos, e rápidos	Tamanho pequeno e lento, devido ao facto de partilharem o espaço de trabalho com Humanos, tem limitação a nível de velocidade de movimento e de carga máxima permitida
Avaliação de risco não solicitada	Avaliação de risco solicitada, uma vez que põe em risco a segurança dos operadores Humanos
6 eixos	6 a 7 eixos

De seguida, citam-se os requisitos básicos para aplicações colaborativas (*Platbrood, F e Görnemann, O, 2018*):

No que diz respeito ao espaço de colaboração, é importante ter em conta os seguintes aspetos:

1. Deve ser concebido de modo a que o operador possa executar sem quaisquer problemas e em segurança as suas tarefas, sem incorrer em perigo devido a equipamentos adicionais ou outras máquinas na zona de trabalho.
2. Não pode permitir a existência de risco de ferimentos por corte, esmagamento ou perfuração, nem outros riscos com superfícies quentes, peças sob tensão, que não podem ser minimizados pela redução da velocidade, da força ou da potência do sistema robótico. Sendo este princípio igualmente válido para os respetivos dispositivos de retenção (ferramentas) e peças de trabalho.

O espaço de trabalho do robô deve prever uma distância mínima para as áreas acessíveis adjacentes, onde pode correr o risco de ser esmagado ou apertado. Se não for possível, devem ser utilizados dispositivos de proteção adicionais.

Sempre que possível, deve ser prevista uma delimitação segura do eixo, de modo a limitar o número de movimentos livres do robô no espaço e para reduzir o risco de ferimento para as pessoas.

Segundo a ISO 10218-2 e a ISO/TS 15066, um robô colaborativo possui os seguintes modos de funcionamento (que podem ser usados individualmente ou em combinação):

#### Paragem de Segurança Viglada

O robô é parado no espaço colaborativo durante a interação com o operador (Figura 18). Este estado é monitorizado e o acionamento pode continuar ligado.



**Figura 18: Figura ilustrativa do modo “Paragem de Segurança Viglada”**

(Retirada de: *Safe robotics – A segurança em sistemas robóticos colaborativos*)

#### Guiamento Manual STOP

A segurança da colaboração homem/máquina é garantida pelo facto de o robô poder ser conscientemente guiado manualmente a uma velocidade reduzida e segura (Figura 19).



**Figura 19: Figura ilustrativa do modo “Guiamento Manual STOP”**

(Retirada de: *Safe robotics – A segurança em sistemas robóticos colaborativos*)

### Limitação da Força e Potência

O contacto físico entre o sistema robótico (inclusive a peça de trabalho) e uma pessoa (operador) pode ocorrer intencionalmente ou inadvertidamente (Figura 20). A segurança necessária é conseguida pela limitação da potência e da força para valores considerados seguros para evitar ferimentos ou ameaças. A colaboração com potência e força limitada requer robôs especialmente desenvolvidos para este modo de funcionamento. A especificação técnica ISO/TS 15066 inclui valores máximos (limites de esforço biomecânicos), que não podem ser excedidos na colisão do robô com membros do corpo.



**Figura 20: Figura ilustrativa do modo “Limitação da Força e Potência”**

(Retirada de: *Safe robotics – A segurança em sistemas robóticos colaborativos*)

### Monitorização da Distância e Velocidade

A velocidade e os percursos de movimentação (trajetória) do robô são monitorizados e adaptados em função da velocidade e da posição do operador no espaço protegido (Figura 21). No caso de aplicações colaborativas, devem ser escolhidos um ou vários métodos dos que foram aqui apresentados, dependendo da aplicação, de modo a garantir a segurança de todas as pessoas expostas aos potenciais perigos. Os requisitos atuais ao funcionamento de sistemas robóticos colaborativos incluem a utilização de um sistema de comando adequado relacionado com a segurança, que cumpre os requisitos do PL d segundo ISO 13849-1.



**Figura 21: Figura ilustrativa do modo “Monitorização da Distância e Velocidade”**

(Retirada de: *Safe robotics – A segurança em sistemas robóticos colaborativos*)

Para terminar, um exemplo de um robô colaborativo é o robô da Universal Robots: constituído por um braço robótico, um controlador e um terminal, conforme apresentado na Figura 22. Estes, permitem a integração de garras pneumáticas de encaixe rápido e de programação acessível, assim como de câmaras com possibilidade de compatibilidade de software. Têm como carga útil 3, 5, 12.5 ou 16kg, possuindo assim uma vasta gama de aplicações (*Universal Robots, 2018*).



**Figura 22: Robô colaborativo da Universal Robots**

(Retirada de: <https://www.zacobria.com/universal-robots-zacobria-industrial-robot-ur5-ur10-specifications.html>)

Não obstante, esta é ainda uma área em desenvolvimento, necessitando de mais estudos para se poder integrar em maior grau na indústria atual.

## 2.2 – A indústria 4.0

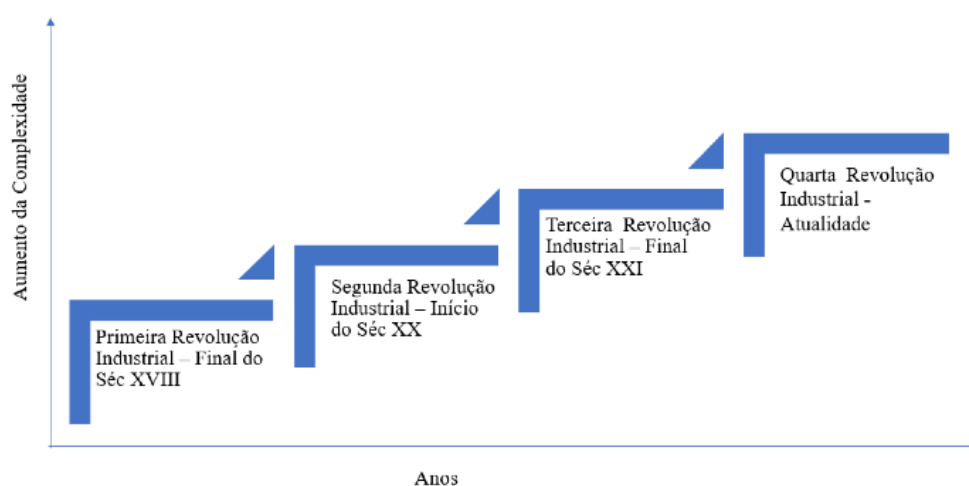
### 2.2.1 – História da indústria

Para que se possa entender a importância da Indústria 4.0, deve-se começar por uma revisão da literatura e contextualizá-la a nível histórico.

Dado o dinamismo da indústria e a constante necessidade de aperfeiçoamento e desenvolvimento, esta tem vindo a ser alvo de inúmeras transformações ao longo dos anos, sendo o centro de toda a revolução industrial o aumento da produtividade recorrendo às novas tecnologias.

Como ilustrado na Figura 23, a Primeira Revolução Industrial teve início no final do século XVIII com a introdução da mecanização, a Segunda ocorreu no início do século XX com a produção em massa e o uso da energia elétrica, e a Terceira ocorreu no final do século XX com o uso da eletrónica e das tecnologias da informação (Shafiq, S et al, 2015).

No início do século XXI, com o desenvolvimento da Internet, a criação de sensores de menores dimensões e maior potência com preços cada vez mais acessíveis, a utilização de software e hardware mais sofisticado, e ainda a capacidade das máquinas aprenderem e colaborarem, iniciou-se uma transformação na indústria, criando um gigante impacto na competitividade, na sociedade e na economia. Esta transformação foi apelidada pelos professores Erik Braynjolfsson e Andrew McAfee do Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT) como a “Segunda idade da máquina” e em 2011, na Feira Industrial de Hannover, falava-se então em Indústria 4.0 (Schwab, K, 2016).

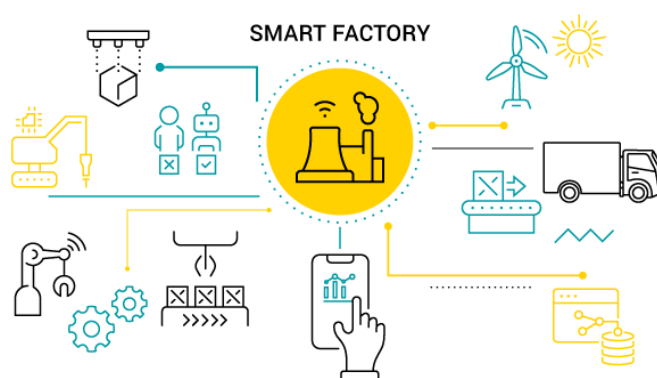


**Figura 23: Revoluções Industriais**

(Retirada de: *Past, present and future of Industry 4.0 - a systematic literature review and research agenda proposal*)

## 2.2.2 – Caracterização da indústria 4.0

O termo “Indústria 4.0”, “smart factory” (Figura 24), “intelligent factory” e “factory of the future” descrevem uma visão do que será uma fábrica no futuro. Nesta perspetiva, as fábricas serão muito mais inteligentes, flexíveis, dinâmicas e ágeis, desenvolvendo produtos inteligentes, através de equipamentos inteligentes em cadeias de abastecimento inteligentes. Esta denominação teve origem numa estratégia do governo alemão, com o objetivo de promover a computadorização do fabrico, incluindo algumas das mais recentes tecnologias, tais como: Cyber Physical, Internet of Things/Services e Big Data, permitindo assim que os processos de produção se tornem mais eficientes, autónomos e personalizáveis (MacKenzie, H, 2015).



**Figura 24: Smart Factory**

(Retirada de: <https://www.avsystem.com/blog/smart-factory/>)

Assim, a Indústria 4.0 assenta na individualização, personalização e digitalização, baseando-se na combinação de inúmeras tecnologias, motivando deste modo as empresas a redefinir as suas estratégias de produção e de marketing. Esta indústria tem como foco principal satisfazer as necessidades individuais de cada cliente mantendo a qualidade, se possível com redução de custos, exigindo para isso flexibilidade, eficiência e sustentabilidade dos processos.

A Indústria 4.0 está neste momento a evoluir na direção da criação de fábricas inteligentes, incluindo as seguintes características (Kang, H et al, 2016):

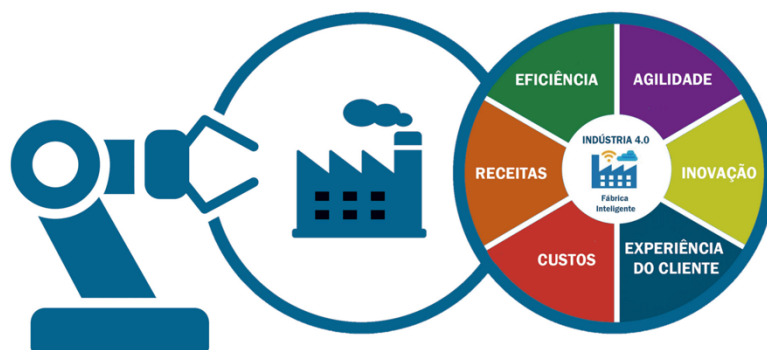
- Padronização e arquitetura de referência;
- Gestão de sistemas complexos;
- Ampliação da infraestrutura de banda larga para a indústria;
- Segurança;
- Organização e design do trabalho;
- Formação e desenvolvimento profissional contínuo;
- Regulamentação dos processos;
- Aumento da eficiência dos recursos.

A Indústria 4.0 assenta nos seguintes princípios (Posada, J et al, 2015):

- Personalização do fabrico: uso da TI para adaptação da produção a lotes menores ou individuais;
- Adaptação automática e flexível da cadeia de produção aos requisitos em mudança;
- Rastreamento e autogestão de peças e produtos e a sua comunicação com máquinas e outros produtos;
- Melhoria da interação homem-máquina, incluindo a utilização de robôs ou outras formas de interação;
- Otimização de produção através da IoT, um auxílio na comunicação entre vários setores nas fábricas inteligentes.

A indústria 4.0 reúne ainda uma variedade de benefícios (Figura 25), nomeadamente (Zvei Die Elektroindustrie, 2016):

- Capacidade de realizar os pedidos personalizados dos clientes
- Produção de unidades individuais de forma mais rentável
- Aumento da flexibilidade através do design dinâmico dos processos
- Tomada de decisão mais eficaz
- Resposta ágil aos problemas que vão surgindo
- Aumento da eficiência da produção através de produtividade e do uso eficiente de recursos (máquinas, energia etc.)
- Existência de uma carreira profissional flexível com modelos de gestão distintos
- Equilíbrio da vida pessoal e profissional.



**Figura 25: 6 benefícios da Indústria 4.0**

(Retirada de: <https://leanteam.com.br/6-beneficios-da-industria-4-0-vitais-para-seu-negocio/>)

De salientar que todas estas alterações afetarão ambos os lados do negócio, criando clientes mais exigentes que procuram para além do produto, uma experiência (desde a embalagem até ao próprio serviço de atendimento e pós-venda), valorizando a opinião geral sobre o produto e como são partilhadas as experiências de outros consumidores (nomeadamente através das redes sociais), para tomarem uma decisão consciente e informada.



## B) Big Data Analytics

Surgido no início deste milênio, este conceito descreve a quantidade e complexidade dos dados que são gerados a cada segundo, possibilitando o seu armazenamento para posterior análise e interpretação, permitindo desta forma uma constante adaptação das estratégias de cada empresa no mundo dos negócios, como ilustrado na Figura 27. Trata-se assim de um conceito com grande potencial para revolucionar a indústria 4.0, dado o crescimento exponencial dos dados de produção no futuro.

Este, trata a informação segundo os 6C's: Conexão (WiFi, rede, sensores e CLPs), Cloud (Sistema de Armazenamento por Nuvem), Cyber (Modelo de Memória), Content (conteúdo), Community (partilha de informação) e Customization (Personalização) (Silveira, C.B, 2016).

Dado o elevado volume de informação que é gerada a cada segundo, surge a necessidade de utilização de ferramentas de armazenamento, análise e contextualização para que esta informação tenha significado e seja útil no delineamento das estratégias das empresas. Este trata-se do grande desafio da indústria 4.0: encontrar a plataforma para armazenar e processar todos os dados considerados relevantes. Para isto, será necessário recorrer a sistemas tecnologicamente evoluídos com algoritmos sofisticados, de que ainda não dispomos.



**Figura 27: Big Data Analytics**

(Retirada de: <https://www.qubole.com/big-data-analytics/>)

## C) Segurança

Dentro deste tópico, encontram-se dois subtópicos a assegurar: proteção de dados e respetiva fiabilidade (Figura 28).

Relativamente ao primeiro subtópico, a proteção de dados: de modo a evitar potenciais ataques à rede, devido ao uso do WiFi e software de gestão, os dados devem ser encriptados, sendo enviados sem alterações e com a respetiva informação confidencial (*Silveira, C.B, 2016*).

No que toca à fiabilidade destes dados, requer-se um procedimento que garanta a recolha correta dos mesmos, evitando problemas de comunicação MtM (Machine to Machine), uma vez que os erros presentes poderão alterar por completo o sistema, interferindo com o seu normal funcionamento.

É então fundamental não só a existência de organizações que protejam estas informações, mas também softwares devidamente testados para o seu correto processamento, recorrendo à manutenção e controlo periódico do próprio software para evitar potenciais falhas no processo.



**Figura 28: Segurança na Indústria 4.0**

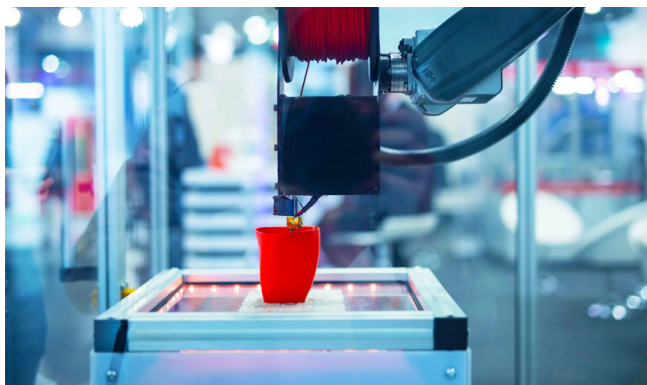
(Retirada de: <https://www.esa-automation.com/en/cyber-security-as-a-prerequisite-for-the-industry-4-0/>)

#### D) Fabrico Aditivo

Conceito que se baseia na produção de componentes de um produto sem a necessidade de ferramentas especializadas e recursos de construção; representa uma prototipagem flexível e conectada dos componentes do produto em larga escala, facilitando a sua personalização (*Holmström, J et al, 2016*), recorrendo para isto a impressoras 3D (Figura 29).

Atualmente, as empresas procuram criar produtos cada vez mais adaptados às necessidades de cada cliente, tendo em conta o aumento da digitalização, penetração de IT e rede de produtos, recursos e processos de fabrico (*Rennung, F et al, 2016*), sem com isto aumentar o tempo de colocação do produto no mercado. Com o surgimento da Indústria 4.0, prevê-se então que se recorra frequentemente aos métodos de Fabrico Aditivo, dado o seu elevado desempenho e o recurso a sistemas

descentralizados, tornando todo o processo mais automático. Além do mais, o Fabrico Aditivo tem ainda a vantagem da diminuição dos custos de produção, recorrendo a métodos como a Deposição por Fusão (FDM), a Fusão Seletiva a Laser (SLM) e a Sinterização Seletiva a Laser (SLS) (Landherr, M et al, 2016).



**Figura 29: Impressão 3D na Indústria 4.0**

(Retirada de: <http://www.maispolimeros.com.br/2020/01/30/impressao-3d/>)

### E) Robôs Autônomos

Um robô dito autônomo, representado na Figura 30, é o que executa determinados métodos de produção de forma independente e segura, com elevada precisão, dentro do tempo determinado para tal tarefa, com flexibilidade, versatilidade e possibilidade de colaboração (Bahrin, M. A. K et al, 2016). Nos dias que correm, os robôs criados são progressivamente mais autônomos, flexíveis e cooperativos, perspetivando-se a longo prazo que possa existir alguma interação entre vários robôs, permitindo um trabalho em segurança e sinérgico com o ser humano (Rüssmann, M et al, 2015).



**Figura 30: Robôs autônomos na Indústria 4.0**

(Retirada de: <https://www.goepik.com.br/conheca-as-principais-tecnologias-da-industria-40>)

## F) Realidade Aumentada

Designa-se por Realidade Aumentada (“Augmented Reality”) a integração de elementos e/ou informações virtuais a visualizações do mundo real (Figura 31) através de uma câmara e sensores de movimento como um giroscópio e um acelerómetro (Erboz G, 2017).

A interação do mundo digital com o mundo real é capaz de criar tutoriais direcionados para a indústria 4.0, facilitando desta forma o processo de produção e manutenção (Erboz G, 2017). Os sistemas que recorrem a esta tecnologia contribuem para uma variedade de serviços, como a seleção de peças num armazém, o envio de instruções de reparação através de dispositivos móveis ou ainda, em contexto industrial, o fornecimento de informações em tempo real aos seus colaboradores, contribuindo para uma eventual tomada de decisão mais informada ou para uma melhoria dos procedimentos de trabalho (Rüssmann, M et al, 2015).



**Figura 31: Realidade aumentada na Indústria 4.0**

(Retirada de: <https://grupomb.ind.br/mbobras/sustentabilidade/realidade-aumentada-na-industria/>)

## G) Simulação Virtual

Os softwares de simulação têm como objetivo ajudar as fábricas a testar diversos processos sem interromper ou dificultar a produção que se encontra a decorrer. A simulação pode ser realizada recorrendo a softwares específicos que recolhem os dados da produção e os analisam, indicando os problemas presentes e possíveis soluções (Figura 32).

A utilidade destas simulações reside no facto de ser possível, por exemplo, calcular o tempo de cada ciclo de produção e o consumo de energia respetivo, ou ter uma representação dos aspetos ergonómicos de um produto, permitindo otimizar todo o processo. Também a qualidade das tomadas de decisão pode sofrer melhorias com o recurso a softwares de simulação, nomeadamente no que toca ao orçamento final do projeto, pois existe aqui a possibilidade de o testar quando ainda se trata de um conceito virtual (Simons, S et al, 2017).



**Figura 32: Simulação virtual**

(Retirada de: <https://www.revistaferramental.com.br/?cod=artigo/a-aplicacao-da-simulacao-no-controle-da-producao-de-pecas-estampadas/>)

### H) Cloud Computing

Trata-se de uma tecnologia computacional que permite o uso remoto de determinados recursos, através da ligação à internet, oferecendo alta performance a baixo custo (Zheng, et al, 2014). A virtualização dos servidores “na nuvem” possibilita o acesso a uma enorme quantidade de dados em qualquer local, facilitando a integração de sistemas de locais distintos, assim como a sua gestão e suporte (Zheng, X et al, 2014).

Uma plataforma única, baseada na nuvem (Figura 33), tem então uma enorme utilidade para permitir a ligação e comunicação entre uma variedade de elementos envolvidos na aplicação da indústria 4.0 (Landherr, M et al, 2016). Com a indústria 4.0, surge a necessidade de uma partilha de dados eficiente, nomeadamente para o chamado Fabrico em Nuvem: onde não só os clientes mas também os fornecedores podem ter acesso aos recursos de fabrico e aos seus serviços (design, simulação e teste dos produtos), permitindo melhorar a prestação de serviços da empresa em questão (Zhang, Y et al, 2017).



**Figura 33: Cloud Computing no fabrico**

(Retirada de: *si3-Industry: Cloud Computing in Industry 4.0*)

## CAPÍTULO 3: ATIVIDADES DESENVOLVIDAS DURANTE O ESTÁGIO CURRICULAR

O planeamento referente aos 8 meses de estágio na empresa *Tojaltec*, assentou na passagem do estagiário por todos os seus departamentos. Deste modo, o estagiário teria a oportunidade de adquirir conhecimentos e experiência nas mais variadas áreas: desde o projeto até à produção de uma máquina robotizada, conforme se apresenta seguidamente, de acordo com os setores onde o estagiário teve uma intervenção de maior relevância.

### 3.1 – Setor de Maquinação

A passagem pela área de maquinaria CNC é de extrema relevância, pois permite ao estagiário criar o raciocínio necessário para determinar em que situações é possível e/ou benéfica para a empresa a produção de determinado tipo de componente por intermédio destas tecnologias de fabrico.

A área de CNC da *Tojaltec* tem como principal propósito a criação de peças internas, necessárias para a execução/ montagem dos equipamentos a produzir.

Durante 2 meses, o estagiário pôde não só observar a atividade do setor (tendo desta forma adquirido as bases para a realização de um programa para se obter uma peça maquinada), como também fazer parte integrante do processo de planeamento e fabrico de diversos componentes, ficando responsável pelos acabamentos das peças e por auxiliar os responsáveis pelas máquinas de CNC, programando alguns ciclos de maquinagem de peças para serem posteriormente executados. Neste setor, o estagiário desenvolveu essencialmente as suas capacidades de programação, aprimorando também a sua técnica de limagem e roscagem, como demonstrado na Figura 34, ficando responsável pelos acabamentos das peças aquando da saída das fresadoras CNC, utilizando para isto escareadores, limas e roscadoras pneumáticas. Neste contexto, a referir ainda que todo o trabalho do estagiário foi supervisionado e verificado por especialistas na área aquando do seu término.

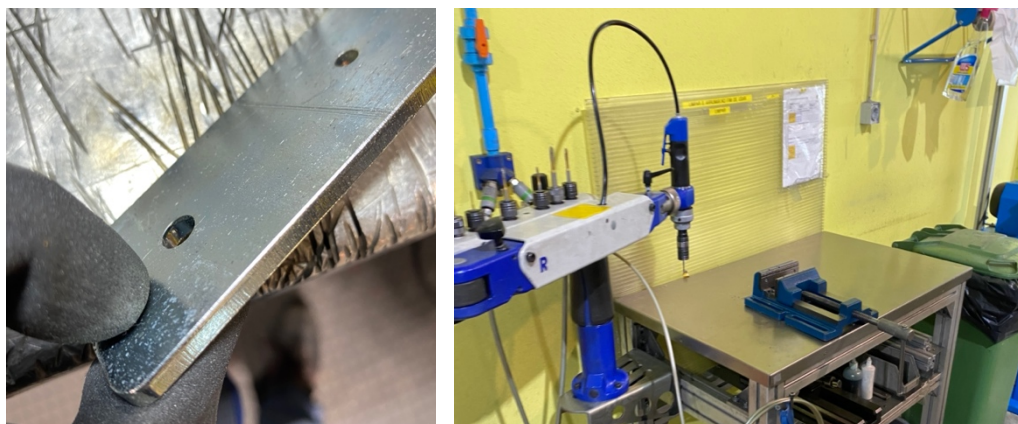


Figura 34: Acabamento de peças realizado pelo estagiário

Para a modelação 3D, na *Tojaltec*, recorre-se ao software *Solidworks*. Assim, opta-se também pela utilização do software *Solidcam* (extensão do *Solidworks*) na programação dos códigos CNC, para garantir a compatibilidade entre softwares, diminuindo a ocorrência de erros e consequentemente aumentando a produtividade da empresa e a fluidez de todo o processo.

As fresadoras CNC usadas na empresa (Figura 35) são do modelo Skillful V11I (para peças de maiores dimensões, uma vez que possui uma mesa de trabalho maior), CMX 600V (para peças que necessitem de um maior grau de precisão) e DMC 63V ou Romi D760 (para peças mais simples), sendo este último modelo o mais trabalhado pelo estagiário.



Figura 35: Fresadoras CNC - Tojaltec

Na Figura 36 encontra-se um exemplo de uma peça produzida por fresagem, para a qual foram programados os ciclos de maquinação e posteriormente executados durante a estadia neste setor.



Figura 36: Peça maquinada pelo estagiário

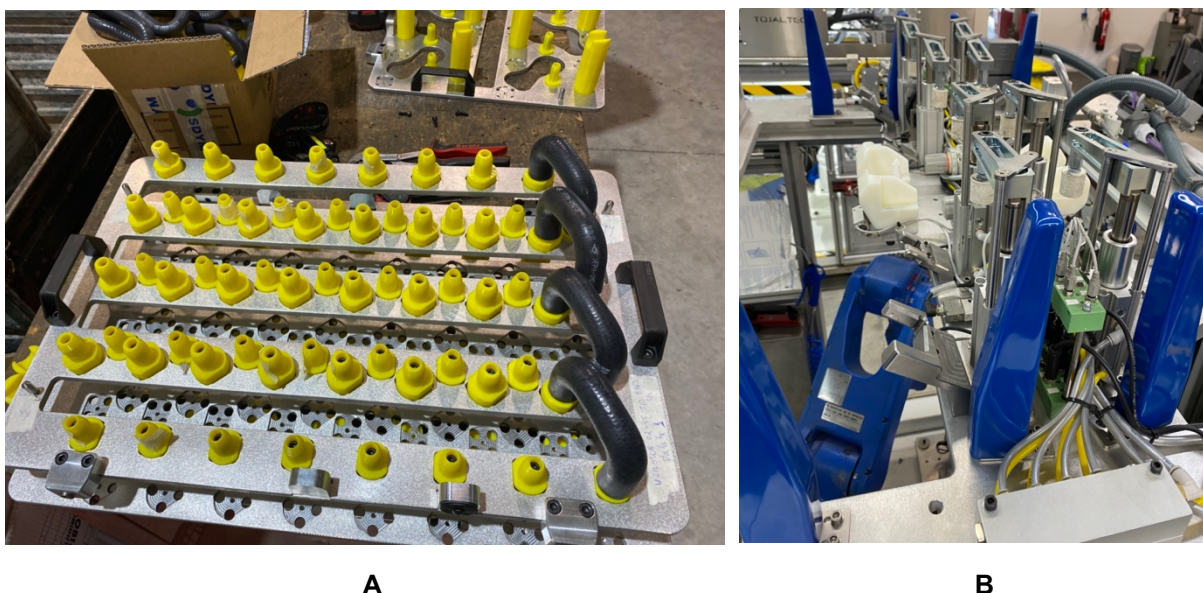
### 3.2 – Setor de Montagem

Tratando-se esta vertente uma das mais importantes para o estagiário (na medida em que proporciona uma melhor perceção do modo como os equipamentos devem ser projetados, facilitando a sua montagem e futura manutenção), o estagiário esteve 4 meses no setor de montagem.

Nesta secção, o estagiário teve a oportunidade de auxiliar na montagem de 3 máquinas. Partindo de uma estrutura em aço soldada, foi feita a simulação da montagem de todos os constituintes das máquinas em questão recorrendo ao software *Solidworks*, respeitando o código de cores supracitado.

Recorrendo a ferramentas como a serra elétrica, foi permitido ao estagiário fazer o corte de perfis de alumínio na medida pretendida pelo projetista, sendo depois o perfil cuidadosamente terminado (eliminando qualquer limalha resultante do processo de corte) e roscado recorrendo a uma roscadora pneumática (para permitir a aplicação dos parafusos M12, os elementos de ligação dos vários perfis). Mais ainda, o estagiário pode auxiliar no tratamento de chapas, nomeadamente na chanfragem, roscagem, escareamento e acabamento (lixagem e polimento). Depois das peças terminadas, iniciava-se então o processo de montagem propriamente dito.

No decurso de todo este procedimento, um dos momentos mais cruciais tratou-se da instalação do JIG (componente móvel de máquinas industriais, podendo tratar-se de algo simples como representado na Figura 37A, ou algo mais complexo como ilustrado na Figura 37B) e restantes equipamentos envolvidos. Aqui, por rotina, era realizado um processo de afinação dos vários elementos, de modo a garantir o funcionamento do equipamento final, mesmo antes dos programadores realizarem os testes com os robôs.



**Figura 37: JIG - A: sistema de fixação de tubos, B: atuadores pneumáticos**

Ainda neste setor, o estagiário pode observar o método utilizado para realizar as alterações pedidas pelos clientes ou por outros elementos da equipa que detetam possíveis falhas, desde uma simples reparação até à total reconstrução de uma peça.

Finalmente, uma das atividades atribuída aos trabalhadores da área da montagem é a desmontagem e o embalamento das máquinas a serem entregues ao cliente, onde o estagiário teve também a oportunidade de participar.

Para o último mês no setor de montagem, foi proposto ao estagiário a realização de um pequeno projeto, de modo a aplicar as técnicas e conhecimentos adquiridos durante o estágio. O projeto consistiria na criação de uma banca com uma prateleira, que serviria de suporte para material em exposição, a pedido de um cliente. Esta banca seria constituída por dois tampos em MDF e com revestimento fenólico (com as dimensões que se apresentam na Figura 38), com 1 metro de altura (incluindo rodízios).

Tampo em Fenolico cinza de 12 mm + MDF Hidrofogo 19 mm - orlado



Tampo em Fenolico cinza de 12 mm + MDF Hidrofogo 19 mm - orlado



Tampo em Fenolico cinza de 12 mm orlada



Figura 38: Tamos em MDF com revestimento fenólico

Inicialmente, foi realizada uma pequena modelação para se obter uma pré-visualização da estrutura e deste modo se antecipar eventuais obstáculos no seu desenvolvimento. Após aprovação da modelação, o estagiário efetuou o corte dos perfis metálicos com as dimensões pretendidas, tendo ainda ficado responsável pela sua organização, de modo a permitir a inserção de elementos de ligação.



**Figura 39: Material destinado ao projeto**

Concluída a preparação do material para a montagem (Figura 39), o estagiário procedeu para a execução dos furos nos perfis metálicos e nos tampos fenólicos MDF para permitir a sua fixação parafusos de madeira. Finalizada a montagem, o estagiário terminou com a afinação dos perfis para possibilitar o seu futuro alinhamento, dando por concluído o projeto (Figura 40).



**Figura 40: Projeto final - banca para suporte de material em exposição**

### 3.3 – Projeto: Bancada Flexibowl

#### 3.3.1 – Introdução do Projeto

Como Projeto Final de Estágio, foi lançado ao estagiário o desafio de criar uma bancada de apresentação para um robô colaborativo (UR3) e um sistema de vibração representado pela empresa *Tojaltec* (Flexibowl).

A banca teria que, idealmente, ser visualmente atrativa e destacar de igual forma o robô e o sistema vibratório, com o mínimo custo possível. Caberia ao estagiário a idealização e execução do projeto, tal como a respetiva montagem - permitindo assim ter uma perceção alargada de todos os passos necessários para a criação de um produto na empresa *Tojaltec*.

Uma das metas a atingir com a realização deste projeto, seria a demonstração de como o robô colaborativo pode ter uma programação pouco complexa, acessível a utilizadores pouco familiarizados com estas tecnologias, e de como um operador, sem que tenha necessariamente formação na área, conseguiria atribuir determinadas funções ao robô.

O sistema Flexibowl é um sistema de alimentação vibratório, que auxilia o robô no reconhecimento das peças no seu campo de atuação e da sua orientação através da emissão de uma luz de fundo, na superfície onde as peças são colocadas. O robô possui uma câmara, instalada posteriormente, para permitir o reconhecimento de peças, enviando a informação obtida das imagens para o robô, através de programação, e este poder então manuseá-la de acordo com as ordens do operador.

#### 3.3.2 – Procedimento de desenvolvimento do Projeto

##### 3.3.2.1 – Planeamento

Na *Tojaltec*, no início de cada projeto, há lugar para uma reunião onde estão presentes o Responsável de Produção (RP) e o Responsável de Planeamento e Organização de Projetos (RPOP), onde se faz a respetiva apresentação do projeto. A atividade de desenvolvimento do projeto (desenho 3D) apenas se inicia após a reunião e aprovação do projeto em questão. No caso deste trabalho, seguiu-se o procedimento descrito.

##### 3.3.2.2 – Execução

Após a reunião, o projetista faz uma análise detalhada à proposta e ao caderno de encargos (quando existente). Seguidamente, dá-se início à conceção do projeto no software Solidworks. Assim que exista uma proposta de conceito, esta é apresentada ao RP e à restante equipa. Na fase final, deve ainda ser efetuada uma apresentação ou consulta ao Departamento Comercial e ao representante do cliente. Sempre que

surjam modificações, estas devem sempre ser efetuadas numa nova versão do desenho, mantendo a ordem numérica crescente.

No processo de criação de novas peças, o nome (ordem numérica crescente) deve respeitar sempre o formato XXX\_CODIGO PROJETO, impossibilitando a existência de peças com a mesma designação, sendo o nome mantido até ao final do projeto.

Durante a execução do projeto o desenhador deve apresentar pelo menos uma vez o projeto a um maquinador, para que este possa sugerir melhorias e outras alterações necessárias, de forma a diminuir o custo/ tempo de fabrico de componentes de maquinação.

Antes de se enviar o projeto para produção ou aprovisionamento, este deve ser apresentado e validado pelos RP (*Tojaltec* e cliente) e por um colaborador habitualmente externo à equipa de projeto. Após estas validações, o projetista deve fazer o pedido de todos os componentes necessários para a construção do mesmo na Ficha de Projeto (FP).

Após o envio para produção o projetista deve atualizar o desenho sempre que surjam alterações ao anteriormente projetado. Sempre que isso acontecer, deve ser criada uma nova versão/ revisão do desenho.

Numa fase final e após todas as atualizações ao desenho, o projetista deve preparar o desenho 2D de todas as peças que considere relevantes ou de desgaste. Sempre que o RP o solicitar, o projetista deve efetuar as atualizações ou modificações necessárias ao desenho.

### **3.3.2.3 – Controlo de Componentes Fabricados Externamente**

O controlo dos componentes fabricados externamente, sendo o corte laser o mais frequente, deve ser feito pelo projetista aquando da sua receção, devendo ter como base o desenho enviado e a proposta apresentada pelo fornecedor.

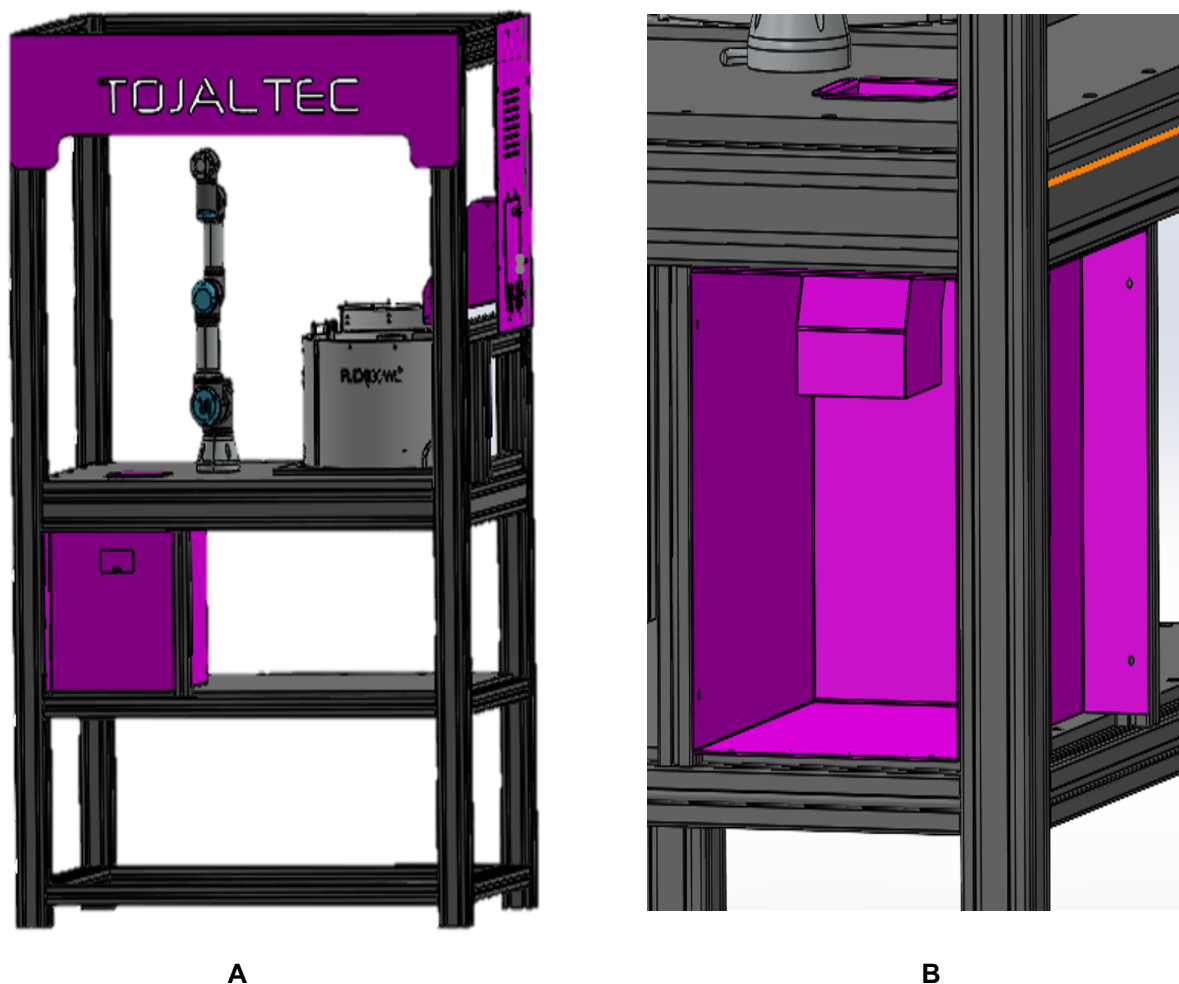
Durante as restantes fases o projetista deve acompanhar os trabalhos garantindo que estão a decorrer de acordo com o projetado.

## **3.3.3 – Elaboração do Projeto**

### **3.3.3.1 – Modelação**

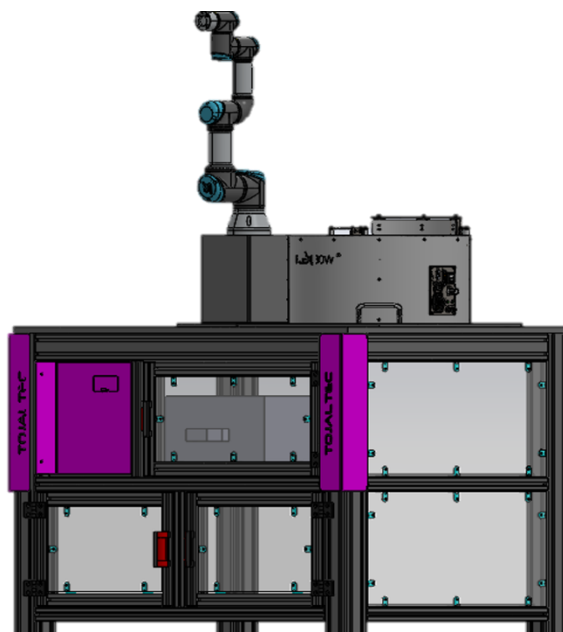
Inicialmente, o estagiário idealizou a criação de uma bancada com uma estrutura metálica que se localizaria acima do robô (Figura 41, A). Nesta projeção, todas as vistas da bancada de trabalho estariam revestidas por placas de policarbonato, exceto a do operador, e as peças estariam dispostas na estrutura metálica, por cima do robô. O objetivo seria o robô agarrar as peças e colocá-las num recipiente oculto numa das prateleiras (Figura 41, B).

Apesar desta estrutura ser a ideal no que respeita às linhas de produção, esta era dotada de um elevado grau de complexidade, pelo que esta idealização do projeto não avançou para os passos seguintes.



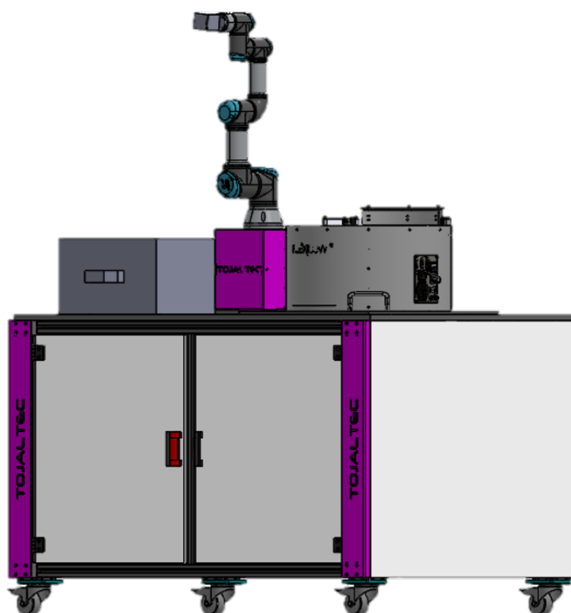
**Figura 41: A) Modelo em Solidworks - fase inicial, B) Modelo em Solidworks - Caixa para colocação do elemento recetor de peças**

Posteriormente, idealizou-se uma estrutura mais prática e de fácil transporte: nesta, a bancada de trabalho seria aberta, estando visíveis tanto o robô como o sistema vibratório (Figura 42). A estrutura seria essencialmente composta por perfis metálicos, placas de policarbonato transparentes para servirem de elementos de proteção, tampos de alumínio para as mesas e para a sustentação do próprio robô.



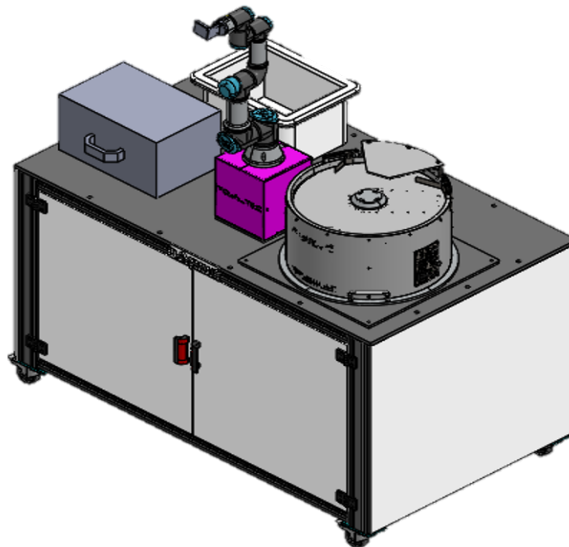
**Figura 42: Modelo em Solidworks - primeiras alterações**

Esta versão foi progredindo, evoluindo para algo mais apelativo a nível visual, nomeadamente através da redução da quantidade de portas de três para duas (Figura 43). Foram substituídas as placas de policarbonato por MDF branco nas laterais e nos tampos, e criado um sistema para colocar o robô numa posição mais elevada. Deste modo, proporcionar-se-ia ao robô um maior grau de liberdade e este não colidiria com o sistema vibratório.



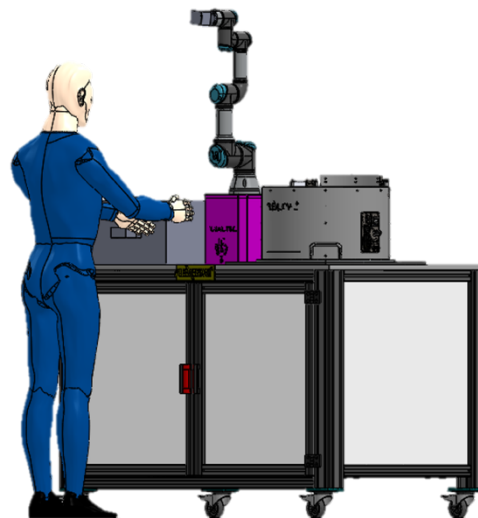
**Figura 43: Modelo em Solidworks - fase final**

Numa das últimas validações da bancada, optou-se por substituir as chapas de inox com o nome da empresa por um símbolo em 3D produzido por fabrico aditivo, dado produzir-se um efeito semelhante, a menor custo. Foi ainda aplicado o MDF dentro das ranhuras do perfil (ao invés da aplicação à volta da estrutura), evitando assim o uso de parafusos e obtendo-se um resultado final mais simples e de maior facilidade na montagem (Figura 44).



**Figura 44: Modelo em Solidworks - Projeto final**

Na versão final, foi invertido o posicionamento do operador (Figura 45), ficando assim tanto o sistema vibratório como o robô na parte traseira da banca, podendo o operador trabalhar de forma mais liberta.



**Figura 45: Modelo em Solidworks - vista do operador**

Por último, optou-se por colocar o sistema controlador do robô no interior da banca, numa das prateleiras.

### 3.3.3.2 – Componentes

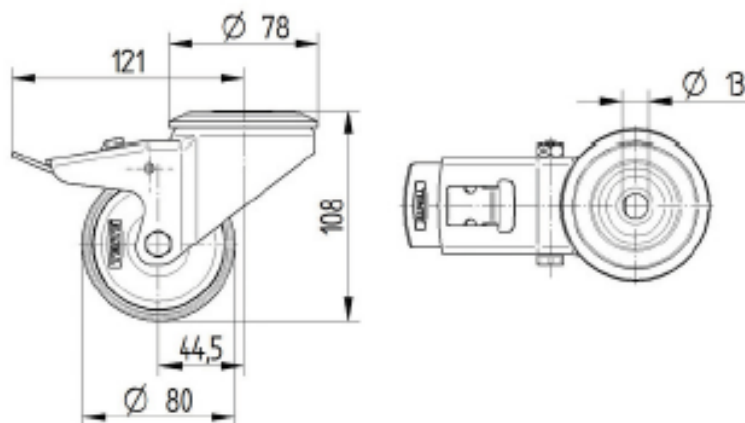
#### A) Rodízios

Com o objetivo de permitir o suporte do peso da banca e dos objetos nela colocados, e ainda de manter a estrutura fixa aquando da movimentação do robô, a escolha dos rodízios foi determinante, tendo-se optado pelos rodízios com travão incorporado (Figura 46). Na Tabela 4 encontram-se os dados técnicos referentes aos rodízios aplicados na bancada.

**Tabela 4: Dados técnicos dos rodízios**

(Alterada de: *Informação Do Produto ALPHA 3477UOO080P30-13 - Tente*)

<b>Dados Técnicos</b>	
Diâmetro da roda	80 mm
Largura da roda	34 mm
Furo passante	13 mm
Desvio em relação ao eixo	44.5 mm
Diâmetro raio giratório	242 mm
Altura total	108 mm
Temperatura	-20 / + 60°C
Norma	EN 12532
Peso da roda	0.873 Kg
Raio giratório	121 mm
Dureza da superfície de rodagem	Shore D 75
Capacidade de carga	150 Kg
Cap. de carga estática	250 Kg

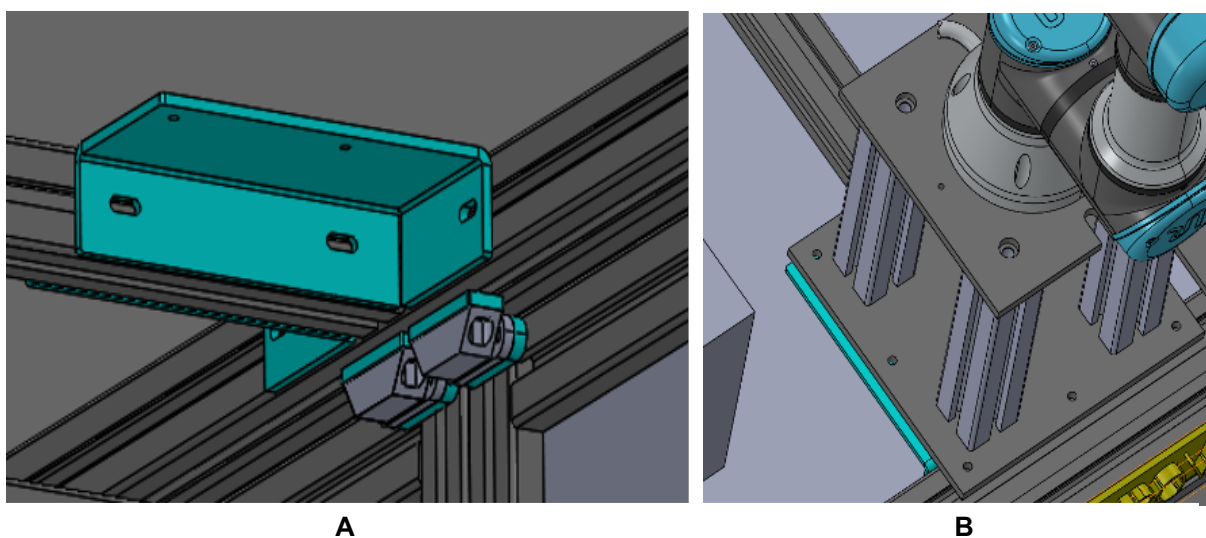


**Figura 46: Dados dos rodízios aplicados**

(Retirada de: *Informação Do Produto ALPHA 3477UOO080P30-13 - Tente*)

### B) Sistema de fixação do robô ao tampo

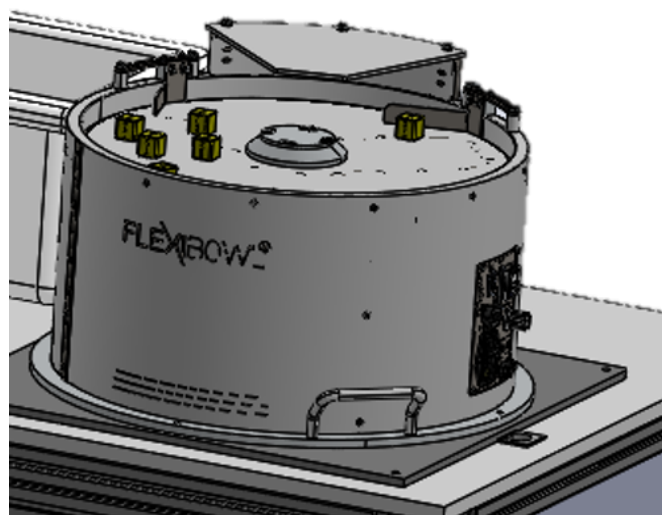
Como mencionado anteriormente, foi criada uma estrutura para colocar o robô numa posição mais elevada. Na Figura 47A observam-se os elementos reforçadores dos cantos das placas de MDF que serviram para aparafusar as placas de alumínio observadas na Figura 47B, as quais juntamente com os 4 perfis observados na figura, tinham como função a colocação do robô numa posição mais elevada. Os 4 perfis possuíam uma secção 45x45 com uma altura de 255mm. Desta forma, obteve-se uma estrutura estável capaz de tolerar toda a movimentação a que será sujeita no futuro. Finalmente, por efeitos estéticos, prosseguiu-se para o isolamento da estrutura com a caixa de inox escovado com a designação da empresa.



**Figura 47: Suporte para o robô**

### C) Tampo de alumínio para o Flexibowl

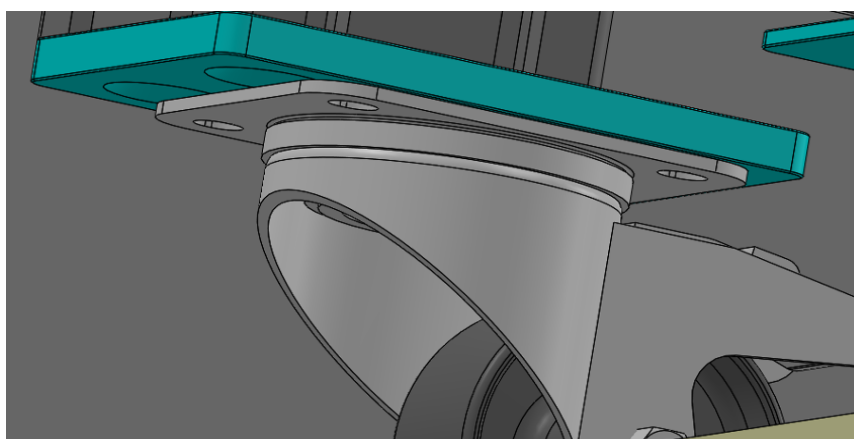
O sistema Flexibowl é um sistema de alimentação vibratório, assim, surgiu a necessidade de criar algo que diminuísse a vibração para a banca de trabalho, que impossibilitaria o funcionamento do robô de forma satisfatória. Por este motivo foi decidido aumentar a área de aplicação do sistema vibratório, uma vez que o peso do sistema vibratório também é significativo, e desta forma reduz-se significativamente a transmissão de movimento para a restante estrutura, como ilustrado na Figura 48.



**Figura 48: Elemento de ligação do Flexibowl ao tampo**

### D) Elemento de ligação da estrutura ao rodízio

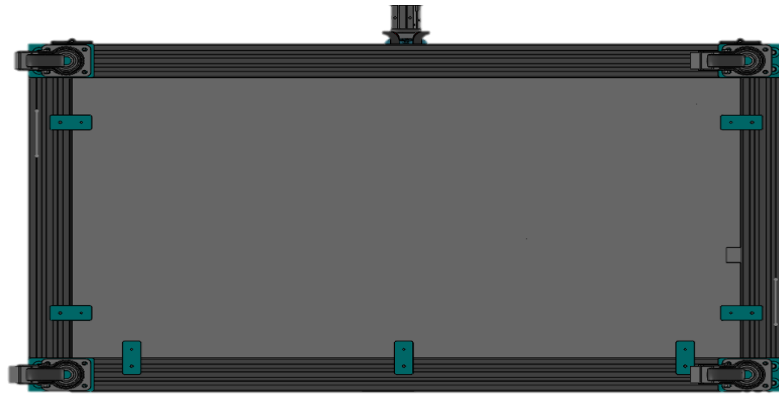
Este elemento consiste numa placa de aço construção S235JR, com a espessura de 10mm, com uma furação cônica para a sua ligação com os perfis metálicos. Com um furo roscado M12 na placa de aço, este permite então a ligação entre o rodízio e a placa (Figura 49).



**Figura 49: Elemento de ligação do rodízio à estrutura metálica**

### E) Elementos sustentadores dos tampos

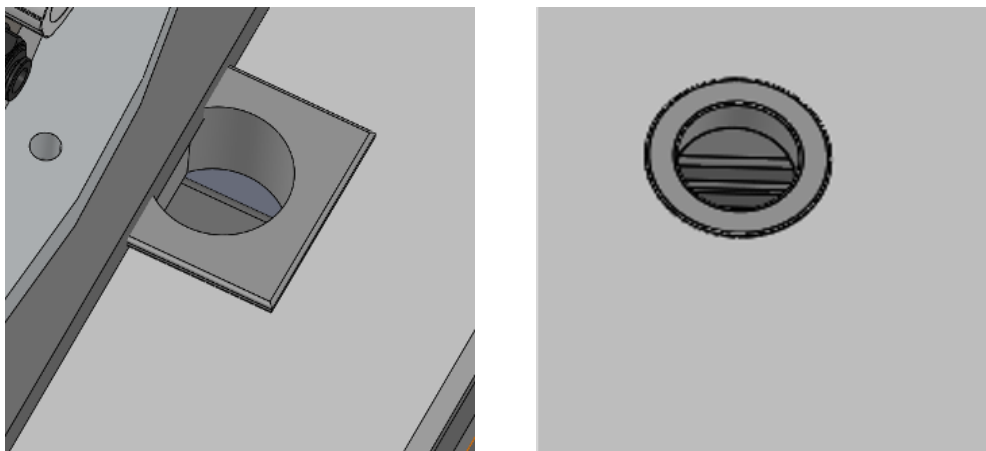
Nas plataformas inferiores, encontram-se 2 tampos de 10mm de espessura de MDF. Para os sustentar, foram criados suportes que os fixam aos perfis, conforme apresentado na Figura 50, recorrendo para isto a um parafuso com uma porca de perfil, sendo estes constituídos por aço S235JR, com 4mm de espessura. A parte do tampo, na parte onde será exercida maior pressão, ficará assente em toda a extensão do perfil metálico.



**Figura 50: Elementos sustentadores dos tampos MDF**

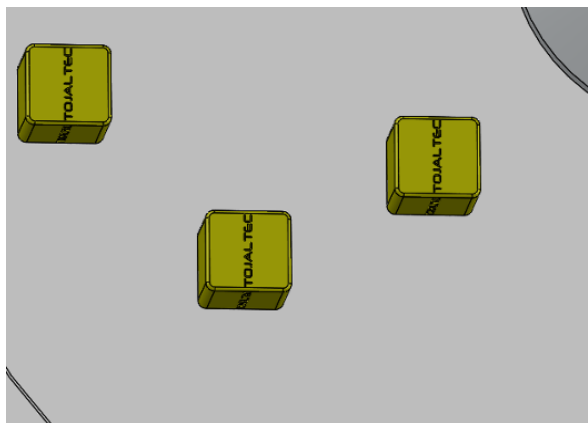
#### **3.3.3.3 – Impressão 3D**

Nesta fase, foi idealizada a abertura de dois furos, para a passagem de cabos para o fornecimento de energia do Flexibowl, e para a passagem do cabo que transmite a informação ao controlador. Para efeitos estéticos, foram criadas duas peças em ABS por impressão 3D com o objetivo de recobrir o perímetro dos furos (Figura 51), não sendo necessário que estas possuíssem uma grande resistência mecânica e por isso, não incrementando significativamente o custo do projeto.



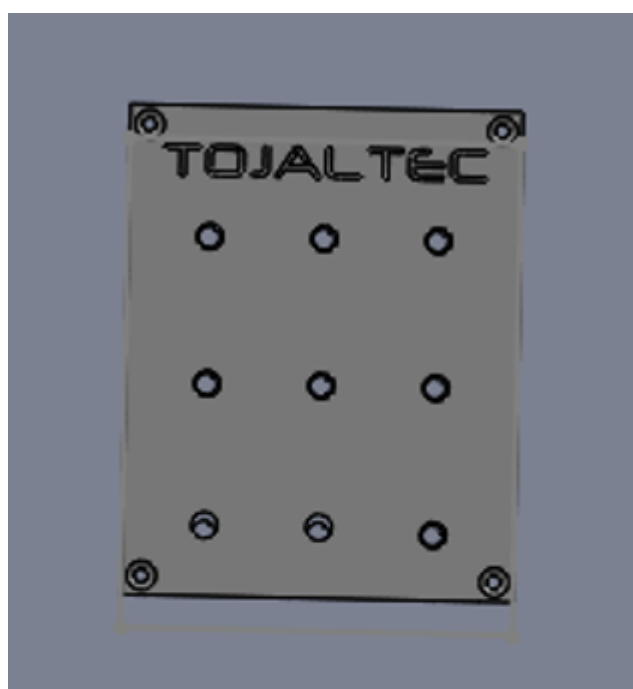
**Figura 51: Peça para cobertura do cabo do controlador**

Foi ainda produzida também por impressão 3D uma peça quadrangular com comprimento de 20 mm (ideal para a garra selecionada para a sua capturação), para demonstração do sistema vibratório e dos movimentos do robô, como ilustrado na Figura 52.



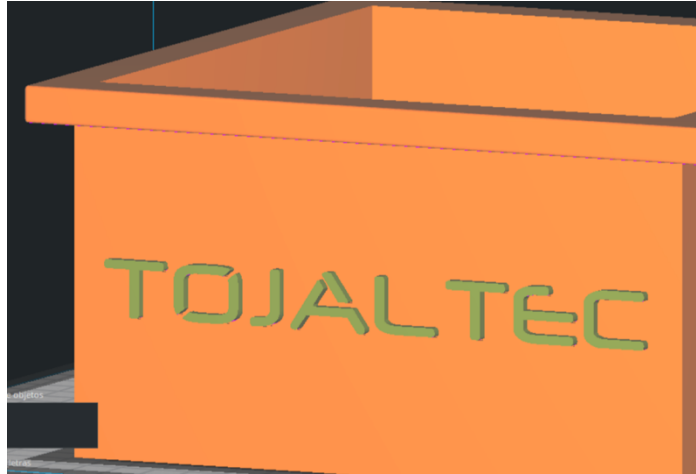
**Figura 52: Peças para impressão 3D**

Ao colocar o controlador no interior da bancada, tornou-se necessária a criação de furos para uma ventilação adequada. Dado o tampo lateral ser composto por MDF, ao realizar a furação, não se produziria um efeito visualmente apelativo. Por este motivo, foi concebida uma placa tornar a zona de furação mais estética, dando assim um aspeto de grelha de ventilação (Figura 53).



**Figura 53: Componente estética do sistema de ventilação**

Optou-se pelo fabrico em impressão 3D de uma caixa para depósito das peças retiradas pelo robô do sistema vibratório, na qual consta o logótipo da empresa incorporado de forma apelativa (Figura 54), dado tratar-se de um dos pontos mais visíveis da bancada.



**Figura 54: Caixa para colocação das peças**

Por último, foi impressa uma placa identificadora do projeto com a designação “Flexibowl” em amarelo, colocada em fundo preto, como apresentado na Figura 55, tornando a estrutura mais apelativa.



**Figura 55: Placa identificadora do projeto**

As impressões 3D foram realizadas na própria empresa. A *Tojaltec* possui 3 impressoras para o efeito: duas para impressões com ABS e PLA e uma para impressões com material compósito (fibra de vidro, fibra de carbono, etc). As impressoras utilizadas na empresa são a Ultimaker S5, a Zortrax M200 e a Norcam Markforged X7. Nestas impressões são utilizados por norma 3 programas. Para a impressora Zortrax utiliza-se o programa da própria marca (z-suite), com a impressora Ultimaker S5 opta-se pela utilização de um programa genérico (Ultimaker Cura), por último, com a impressora Norcam, dado tratarem-se de impressões mais complexas, o programa utilizado é o Eiger, que exige conta de utilizador.

#### **3.3.3.4 – Encomenda**

Neste passo, como mencionado anteriormente, foi utilizado o código de cores para identificação de cada componente que é utilizado na empresa. Após a conclusão da modelação do projeto, este é colocado no servidor e após validação e aprovação da cotação das peças, prossegue-se para a encomenda dos variados componentes, com as características apresentadas na Tabela 5, recorrendo ao responsável do Departamento Comercial, dando-se prioridade na encomenda aos elementos já existentes em armazém.

**Tabela 5: Material para encomenda**

<b>Produtos</b>	<b>Referência</b>	<b>Preço</b>
<b>Perfis Alumínio</b>		
Perfis alumínio 45x45 mm	17000 mm num total de 3 perfis de 6 metros	22.62 €
Perfis alumínio 45x90 mm	5760 mm num total de 1 perfil de 6 metros	16.54€
Perfis alumínio 90x90 mm	3428 mm num total de 1 perfil de 6 metros	32.16€
<b>Tampos MDF Fenólico</b>		
1 1610 x 930 x 20	001-016	50€
2 1425X795X10	009-016	45€
2 692x639x10	007-016	38€
2 771x745x10	012-016	40€
1 1445x745x10	006-016	45€
<b>Tampos alumínio</b>		
1 220 x 220 x 10	004-016	50€
1 200x200x10	005-016	49€
1 600x600x10	002-016	70€
<b>AISI 304</b>		
1	010-016	27.49€
1	011-016	10.09€
<b>S235JR</b>		
4 140x90x10	003-016	39€
14 90x40x5	013-016	69.02€
2 61x20x6	014-016	11.34€
1	015-016	7.96€
1	016-016	5.57€
2 60.8X17.7X6.75	017-016	11.58€
<b>Rodízios</b>		
4	3477POR080P62	29.16€
<b>Puxador porta</b>		
2	Elesa 29864	6.02€
<b>Dobradiça</b>		
4	fasten 5608	19€
<b>Tampa</b>		
Fasten tampa 45x45	4	1.52€
<b>Sistema Flexibowl (custo aproximado)</b>		30 000 €
<b>Universal Robot 3 (custo aproximado)</b>		20 000 €

### 3.3.3.5 – Montagem

A montagem trata-se de um passo determinante na formação do estagiário, pois confere-lhe a capacidade de entender as melhorias a implementar num projeto e ensina a detetar erros que não se tiveram em conta durante a conceção do modelo.

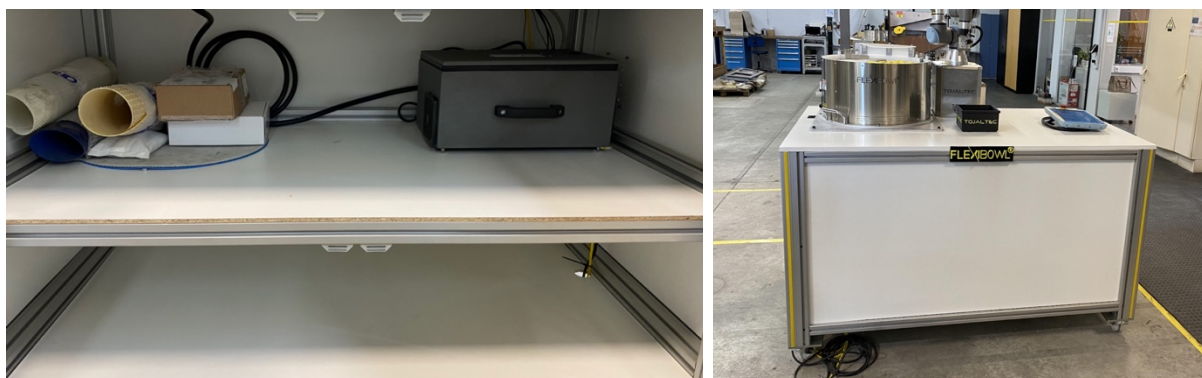
#### 1. Componente Estrutural

Antes de tudo, foi necessário proceder ao corte do material para a estrutura da banca. Para tal, utilizou-se uma serra elétrica, realizando-se o corte de cerca de 15 metros de perfil 45x45 mm e 5,7 metros de perfil 45x90 mm, sendo ainda realizado o corte de cerca de 3,4 metros de perfil metálico de 90X90 mm.

Após o corte, procedeu-se ao acabamento dos perfis, eliminando limalhas e roscando as extremidades com uma rosca M12 para deste modo permitir a ligação entre os perfis, criando assim a estrutura final. Nesta fase, era imperioso garantir que a estrutura metálica ficasse segura e alinhada, para que o braço robótico em movimento não criasse uma situação de instabilidade.

Para um melhor acabamento dos tampos de alumínio, foi realizada a chanfragem dos vértices dos tampos, passando-se de seguida para a lixagem.

Finalizada a estrutura em perfil metálico, procedeu-se à aplicação dos tampos MDF na sua lateral, nas portas e nos elementos de sustentação (Figura 56). Para além do sistema de sustentação dos tampos supracitado, para uma melhor fixação dos mesmos, foram colocados ainda parafusos de madeira na sua periferia.



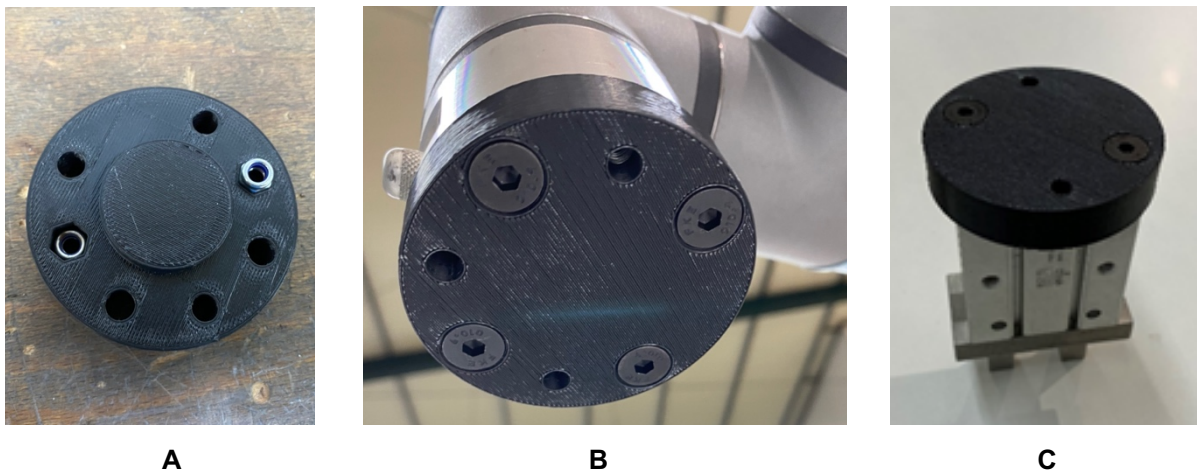
**Figura 56: Estrutura finalizada**

#### 2. Componente Elétrica

De modo a permitir a aplicação de uma garra no robô colaborativo, foi necessária a identificação do tipo de aplicação requerida e do tipo de peças, tendo em mente a opção mais benéfica a nível económico.

Foi colocada então uma garra de atuação paralela (garra de atuação pneumática MHZ2-25D), unida ao braço robótico através de uma peça de união impressa em ABS

pelo estagiário. Esta, encontra-se dividida em duas partes distintas: uma delas pretende-se que se encaixe na saliência do braço robótico (tendo esta a furação para 4 parafusos cónicos M6 e para uma cavilha) (Figura 57B) e a outra que encaixe na saliência da garra pneumática (tendo esta furação para 2 parafusos M5) (Figura 57C). No interior da peça, foram feitos dois furos com o formato de uma porca hexagonal M5 (Figura 57A), para posteriormente se colocarem duas porcas M5 em cada um dos furos, responsáveis pela ligação entre as duas peças. As Figuras 57A e 57B dizem respeito à mesma peça, com vistas diferentes. No caso da Figura 57A observa-se a saliência circular que encaixa no braço robótico.



**Figura 57: A) Porcas hexagonais M5, B) Elemento de fixação do braço robótico, C) Elemento de fixação da garra pneumática**

Para a utilização de uma garra pneumática num braço robótico, é necessário que esta comunique com o controlador, e assim poder enviar informação sobre a posição adotada pela garra. Para isso, recorreu-se a uma válvula solenóide pneumática de 5 vias. Esta é responsável pela comunicação com a garra pneumática, recebendo a informação do controlador do robô. Para além da válvula, instalaram-se também dois sensores magnéticos, para a perceção do estado do pistão que irá ser responsável pelo fecho e abertura da garra pneumática.

Após a fixação da garra pneumática ao braço robótico (Figura 58) procedeu-se à instalação elétrica e pneumática da válvula solenóide. Foi feita a ligação de uma entrada de ar comprimido, estando esta ligada a uma linha de abastecimento. A válvula solenóide possui duas saídas pneumáticas, conforme a informação enviada pelo controlador, direcionando o ar para o fecho ou para a abertura da garra pneumática.

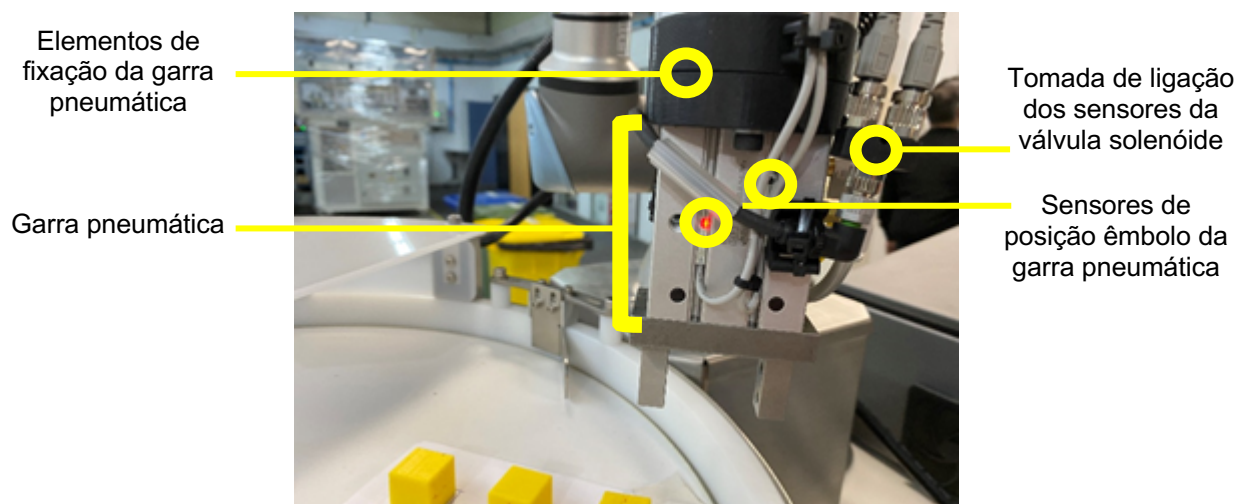


Figura 58: Garra pneumática acoplada no robô

### 3.3.3.6 – Programação

#### A) Robô colaborativo (UR3)

Um dos objetivos deste projeto consistia em demonstrar como a programação de um robô colaborativo é algo simples, não necessitando de formação especializada em programação. Neste projeto, o robô colaborativo escolhido foi o robô da Universal Robots (robô UR3), uma marca com mais de 50 000 robôs, utilizados em diversas áreas de produção. Esta escolha prendeu-se sobretudo pelo facto de não ser necessário um robô com uma capacidade de carga elevada, suportando este até 3 kg de carga (Figura 59).

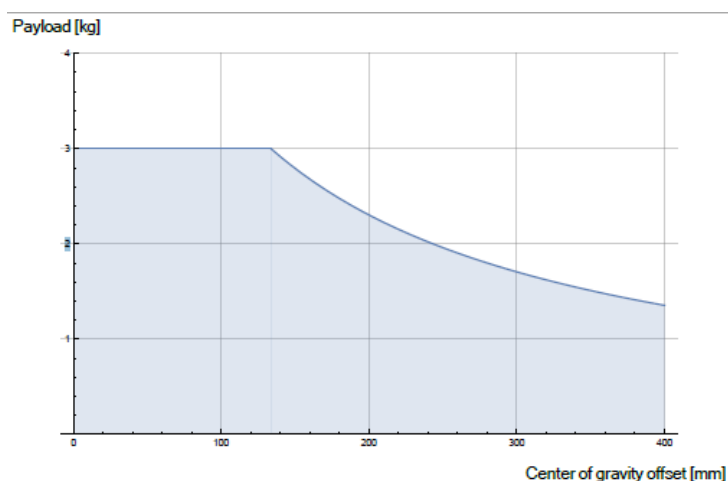
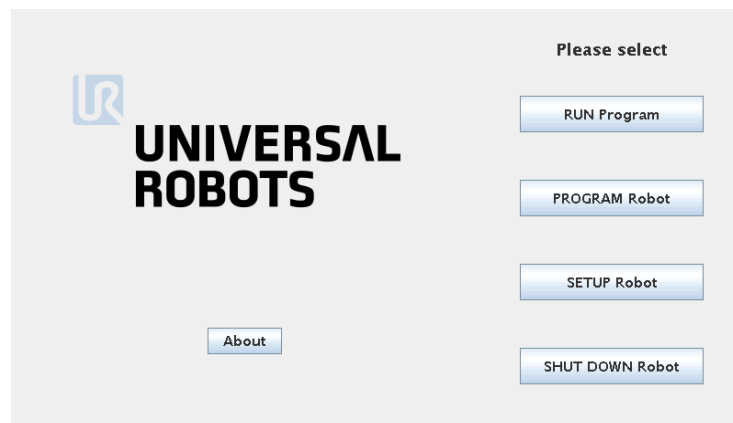


Figura 59: Capacidade de carga do robô UR3

(Retirada de: *UR3 Universal Robots User Manual*)

O modo de programação dos robôs da Universal Robots é através da utilização de waypoints: posições no espaço que são definidas através do controlador. Através da atribuição de uma cadeia de waypoints, surge um programa representando o trajeto a percorrer pelo braço robótico. Para isto, é necessário que o utilizador escolha o tipo de movimento do braço robótico entre waypoints, sendo possível escolher entre duas opções: Move J ou Move L. O movimento J, é indicado para movimentos não tão precisos, em que o braço robótico encontra o modo mais rápido e eficaz de se mover entre posições, através de movimentos não lineares. O movimento L, é um movimento linear, geralmente utilizado em utilizações “pick and place”, tratando-se de um movimento mais preciso.

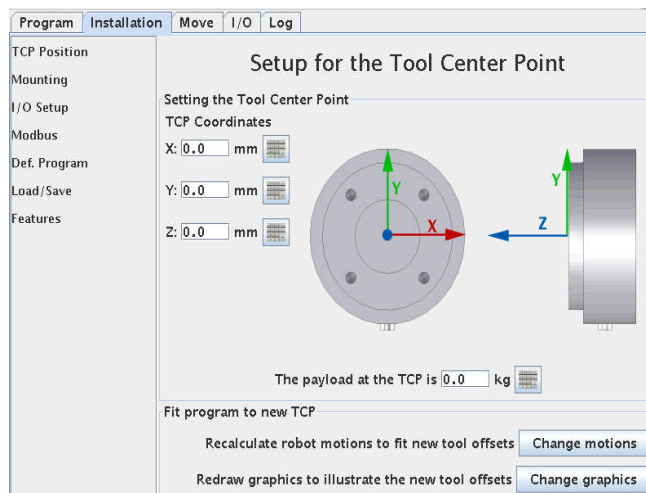
Ao iniciar o robô, deparamo-nos com a página inicial, como apresentado na Figura 60: vários menus, quer para instalar uma ferramenta, ler um programa, ou mesmo criar um novo.



**Figura 60: Menu principal (robô UR3)**

(Retirada de: *Universal-Robots UR-6-85-5-A hints and tips*)

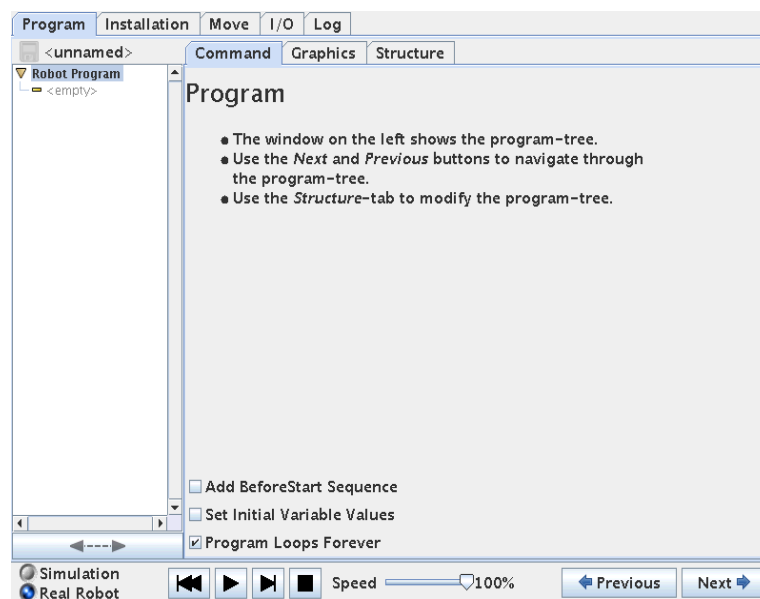
Para programar um robô, quando colocada uma ferramenta nova na ponta do braço robótico, é necessário selecionar o “setup robot” para se fornecer a informação correta ao braço robótico. A primeira etapa de programação de um robô colaborativo é a instalação da ferramenta no sistema (Figura 61), sendo necessário determinar o peso da mesma, a sua altura, a posição do centro de gravidade, e em que direção está colocado o seu sistema de repouso.



**Figura 61: Menu de instalação (robô UR3)**

(Retirada de: *Universal-Robots UR-6-85-5-A hints and tips*)

Para a criação de um programa, o utilizador primeiramente terá de seleccionar o menu “program robot”. Seguidamente, o programa abrirá uma página como demonstrado na Figura 62.

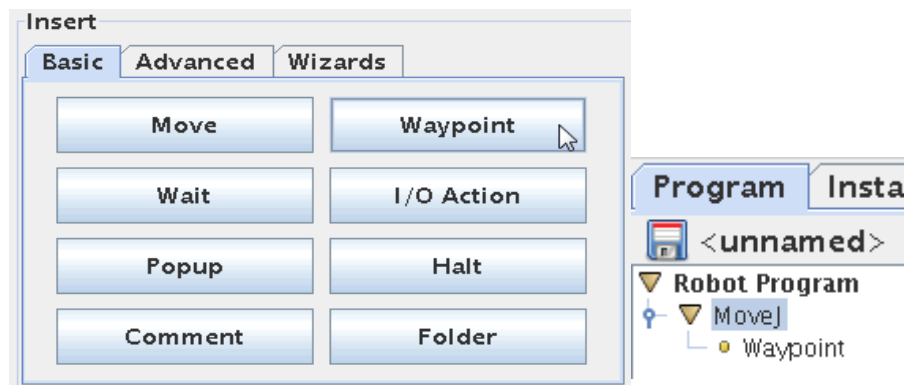


**Figura 62: Criação do programa**

(Retirada de: *Universal-Robots UR-6-85-5-A hints and tips*)

Nesta fase, o utilizador terá de escolher o programa a executar e em seguida seleccionar a secção “empty”. Após essa seleção, aparecerão determinadas opções que o utilizador poderá escolher para a criação do seu programa. Inicialmente deverá seleccionar “waypoint” para determinar a posição em que o braço robótico se encontra

(Figura 63). Deve-se sempre definir, quer o primeiro quer o último waypoint do código, como posição “home” (posição de segurança).



**Figura 63: Criação de waypoints**

(Retirada de: *Universal-Robots UR-6-85-5-A hints and tips*)

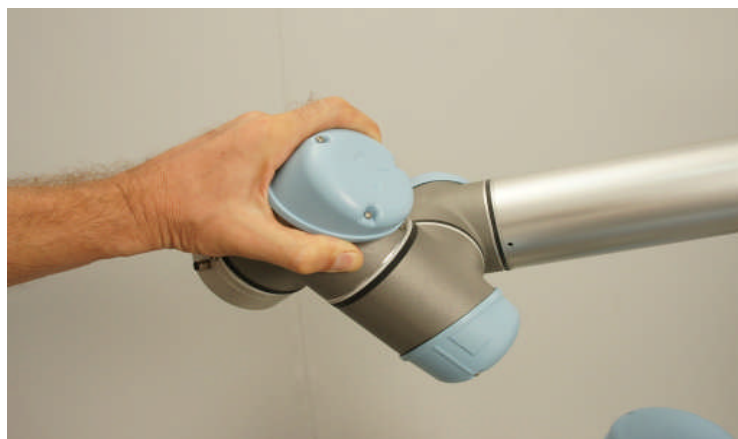
A programação dos waypoints para permitir destrancar as juntas do braço robótico é possível ser feita de duas formas: manualmente (posicionando a ferramenta na posição desejada no espaço e escolhendo a opção “set waypoint” na interface do controlador, pressionando de seguida o botão “Teach” que se encontra na região traseira do controlador - como demonstrado na Figura 64) ou dentro do software (selecionando a opção “Teach”).



**Figura 64: Botão Teach**

(Retirada de: *Universal-Robots UR-6-85-5-A hints and tips*)

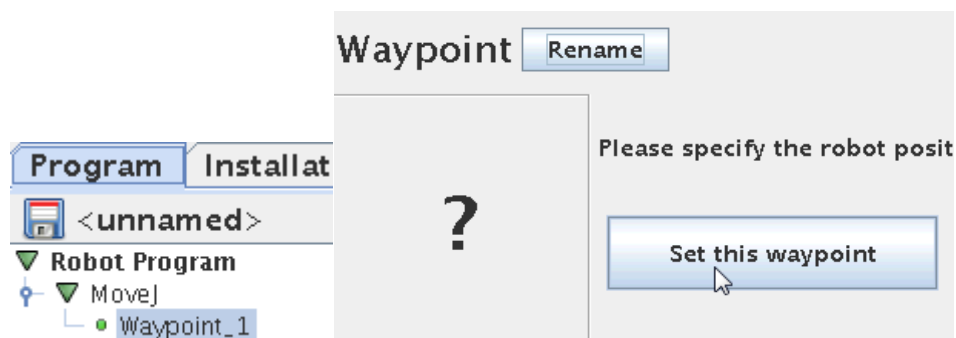
A partir da libertação das juntas do braço robótico, o trabalhador que estiver a criar o programa, poderá elevar o braço robótico para a posição pretendida, mantendo o botão pressionado com uma mão e movendo o braço robótico com o outro (Figura 65).



**Figura 65: Movimento Teach**

(Retirada de: *Universal-Robots UR-6-85-5-A hints and tips*)

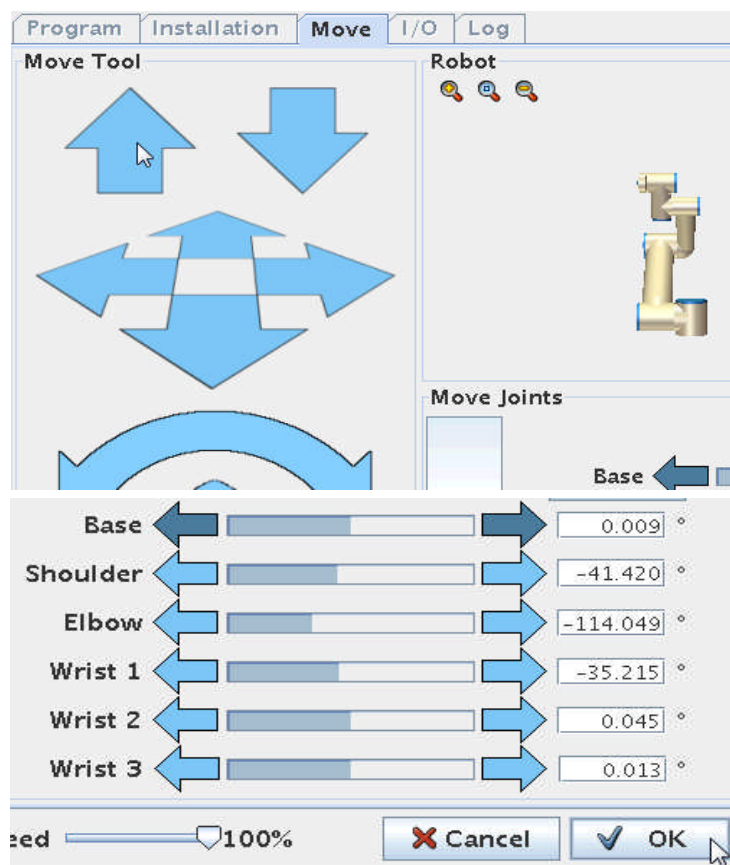
Após o movimento do braço robótico até ao local pretendido, seleciona-se no controlador a opção “set this waypoint” (Figura 66), alterando-se a cor do waypoint de laranja para verde (significando isto que a posição está guardada).



**Figura 66: Confirmação de waypoint**

(Retirada de: *Universal-Robots UR-6-85-5-A hints and tips*)

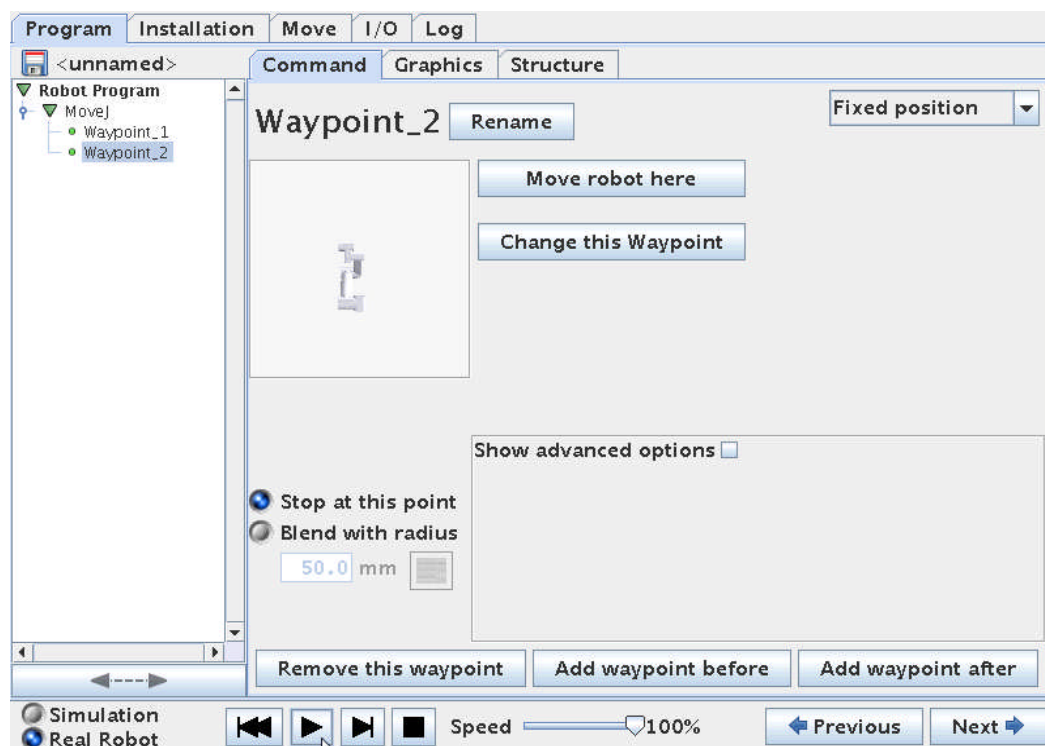
Uma maneira diferente de definir waypoints, como alternativa ao modo “Teach”, consiste na utilização da ferramenta “Move” (Figura 67). Em geral, esta é maioritariamente utilizada em situações que requerem maior precisão, como por exemplo, em situações de “pick and place” na parte de aproximação da peça.



**Figura 67: Movimento do braço robótico**

(Retirada de: *Universal-Robots UR-6-85-5-A hints and tips*)

Após a definição do “waypoint”, o programador pode adicionar outros waypoints (Figura 68), sendo o processo de introdução semelhante. A partir daí, o programador pode criar a linha de código que desejar, usando apenas “waypoints” para fazer com que o braço robótico se movimente entre as várias posições.



**Figura 68: Adicionar waypoint**

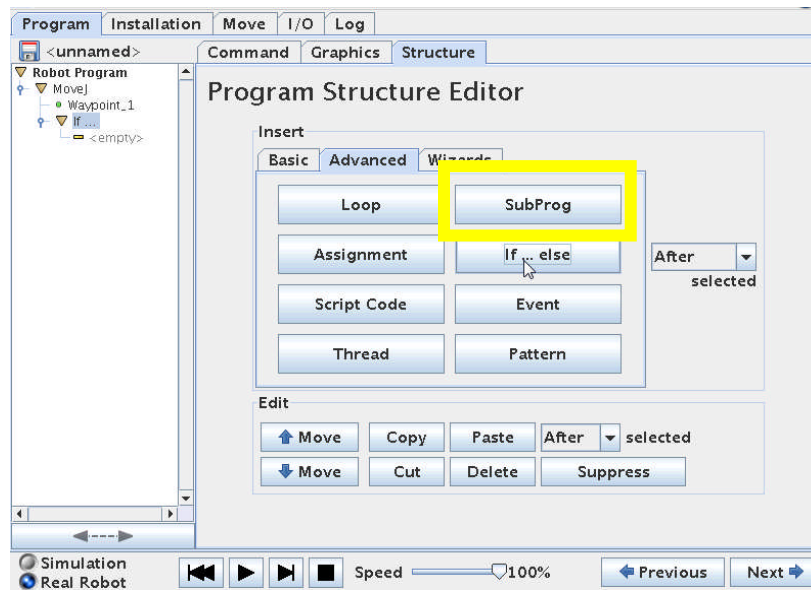
(Retirada de: *Universal-Robots UR-6-85-5-A hints and tips*)

### A.1) Garra Pneumática

A programação da atuação da garra pneumática é feita através de subprogramas: um para a abertura da garra pneumática e outro para o seu fecho. Uma das normas relativas às boas práticas no manuseamento destes robôs é, aquando da utilização de garras pneumáticas, garantir sempre que a garra pneumática inicia e acaba em posição aberta. O objetivo principal, aquando da aproximação do material necessário a agarrar, é não embater na garra pneumática, evitando um erro de colisão que pare o programa.

#### A.1.1) Subprogramas

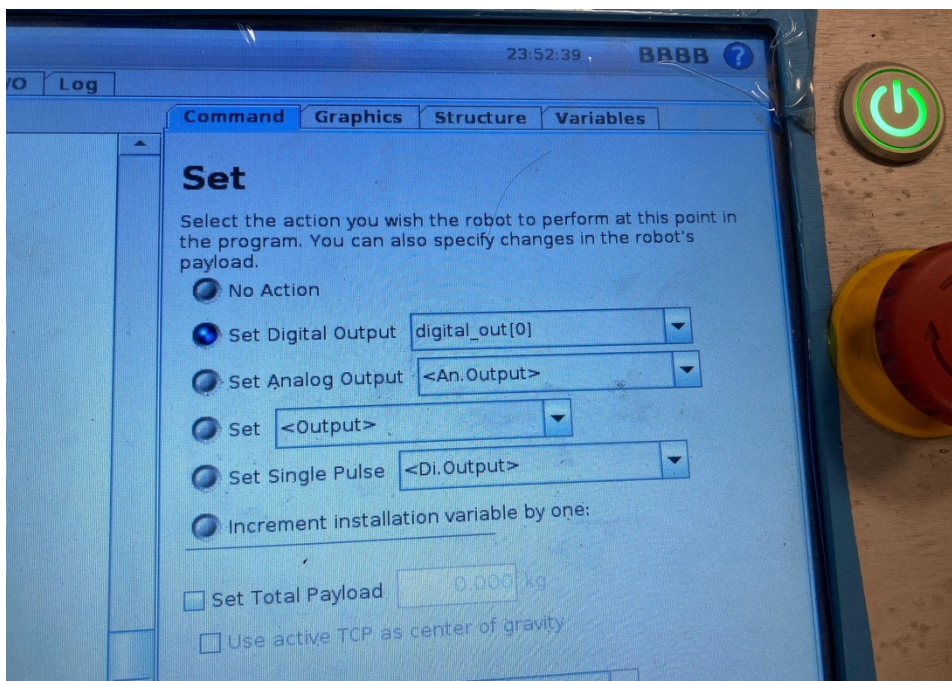
Para a criação de um subprograma é necessário seleccionar o separador "Structure", dentro do separador seleccionar "Advanced" e seguidamente "Subprog" (Figura 69).



**Figura 69: Adicionar subprograma**

(Alterada de: *Universal-Robots UR-6-85-5-A hints and tips*)

Nessa altura, para definir o subprograma Op\_Clamp, definir Digital Output [0]=On, Digital Output [1]=off (Figura 70). Essa informação está relacionada com a posição da válvula solenóide e dos sensores de posição embutidos na garra pneumática. Na operação do fecho da garra pneumática, para definir o subprograma Cl\_Clamp, definir Digital Output [0]=Off, Digital Input [1]=On.



**Figura 70: Definir "digital input"**

Para a criação do subprograma Op\_Clamp, foi necessário introduzir um comando de espera (Figura 71), com o objetivo de evitar o impacto entre a garra pneumática e a peça, gerando um movimento mais fluido e eficaz. Para esse efeito foi selecionado digital\_input[0]=HI, e digital\_input[0]=Low.

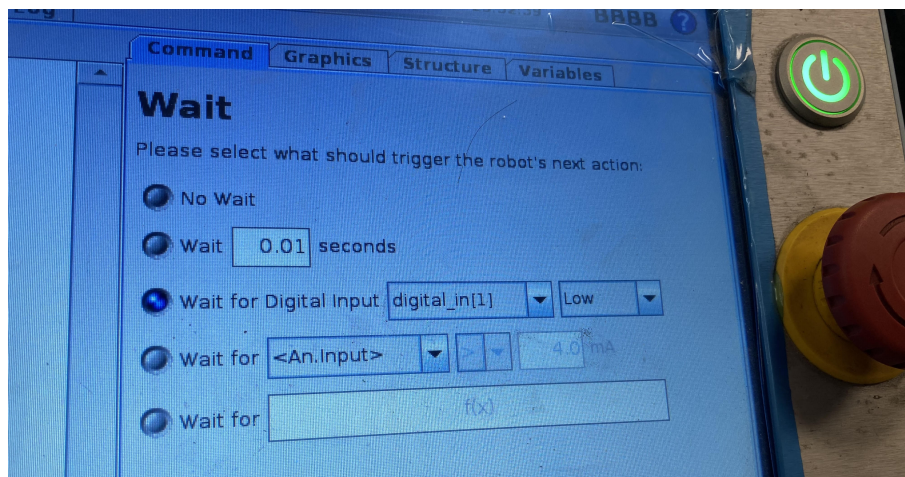


Figura 71: Definir tempo de espera

Para o fecho da garra pneumática foi também criado um subprograma: CL\_Clamp. Este é idêntico ao OP\_Clamp, sendo que a mudança está na seleção das ações, que serão agora opostas: Digital output [0]=off, Digital output [1]=on, Wait Digital input [0]=Low e Wait Digital input [1]=Hi (Figura 72).

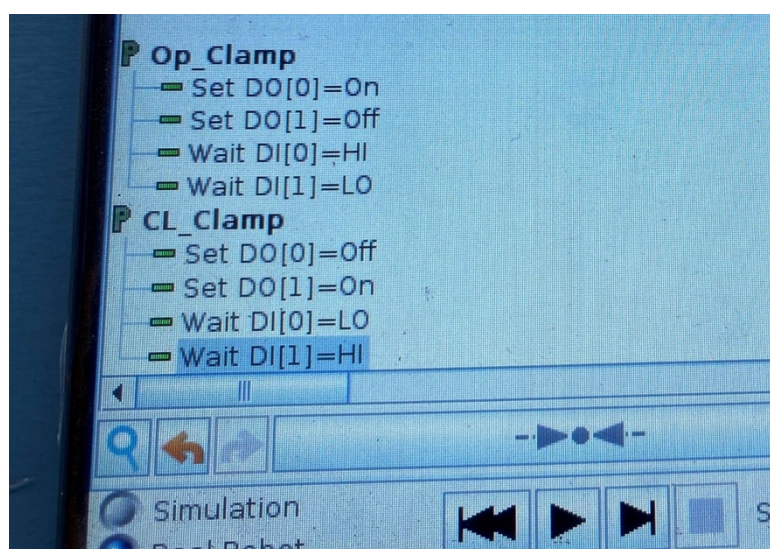
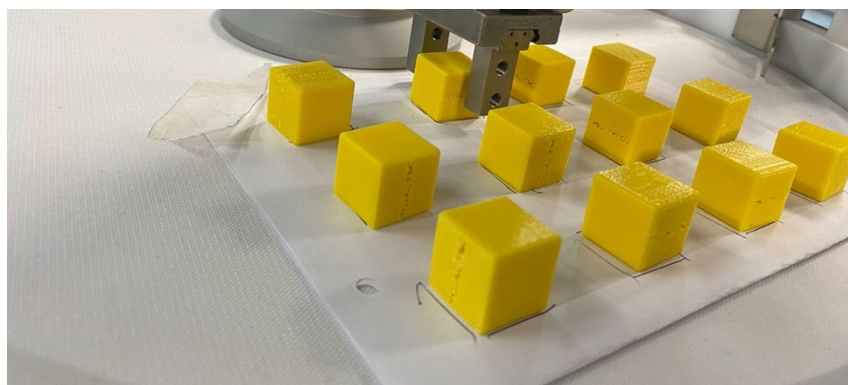
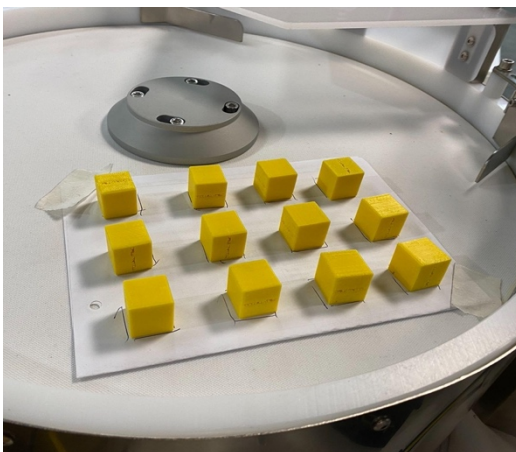


Figura 72: Subprogramas "abrir" e "fechar" garra pneumática

## A.2) Software Pick and Place

O objetivo nesta fase do projeto era a criação de um programa que interagisse com o Flexibowl. O sistema Flexibowl possui um sistema de envio de luz e recorrendo a uma câmara consegue enviar informação para o controlador do robô para que este reconheça a localização e orientação das peças. Este sistema, no entanto, requer conhecimentos na área de programação fora do âmbito do estágio. Assim, o programa desenvolvido pelo estagiário não inclui o recurso à câmara. Não obstante, o restante projeto foi desenvolvido de modo a ser compatível com a instalação de uma câmara à posteriori por um trabalhador qualificado, permitindo a utilização de todas as funcionalidades do robô.

O estagiário criou um programa tipo paletização que permite ao robô agarrar 12 peças individualmente, colocando-as numa caixa impressa para esse propósito (Figura 73). Após a colocação das peças na caixa, o robô colocaria novamente as peças na posição inicial, terminando assim o programa. Este tipo de programa, é bastante usado em linhas de montagem, e por esse mesmo motivo foi projetado para a demonstração da utilização do robô.



**Figura 73: Processo de "Pick and Place"**

Para a realização deste programa, foram criados os dois subprogramas anteriormente mencionados, para a abertura e fecho da garra. Foi definido um waypoint como posição “home”, posteriormente na linha de código foi introduzida uma função “call”, que inicia o subprograma mencionado. Para tal, deve-se selecionar o separador “structure”, posteriormente “subprogram” e “comand”, abrindo-se uma página denominada “Call Subroutine”. Finalmente, deverá ser selecionada a operação desejada, neste caso, o programa Op\_Clamp (Figura 74).

A partir daqui a linha de código é muito semelhante, seguindo sempre esta cadeia de acontecimentos: posição home, posição peça 1, na descida com um movimento linear até à posição de pegar na peça 1, Cl\_clamp, subida com um movimento linear para posição peça 1, home, caixa posição 1, descida em movimento linear para posição caixa peça 1, Op\_clamp, movimento linear para caixa 1, home, e assim sucessivamente até ao fim das 12 peças estarem colocadas na caixa. Terminada a colocação de todas as peças na caixa, é feita novamente a sequência, desta vez da peça número 12 para a peça número 1, e da caixa para o flexibowl. Após a colocação de todas as peças no flexibowl, é chamado o subprograma Op\_Clamp e termina-se na posição “home”.

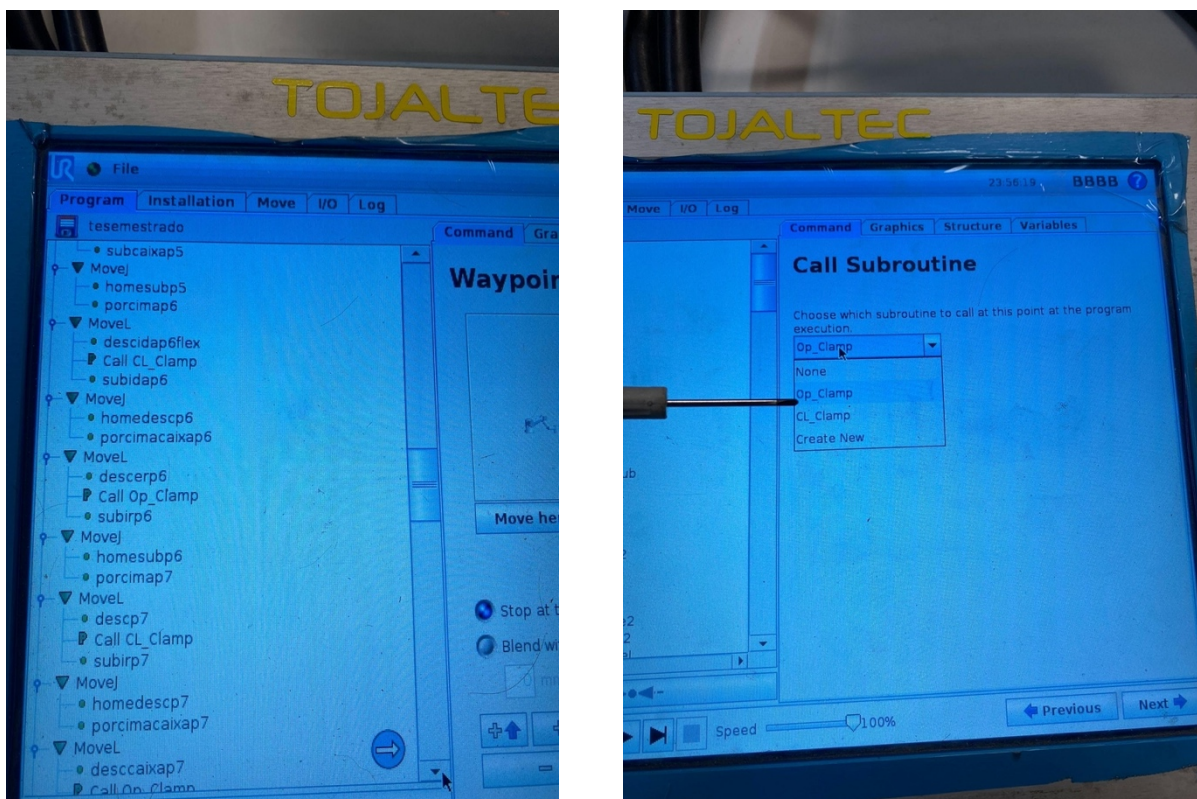
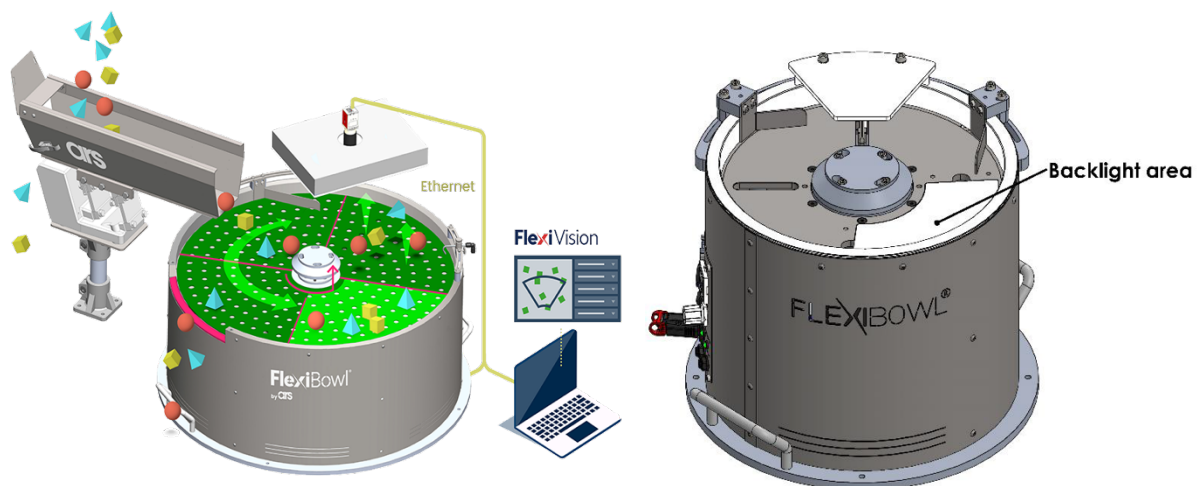


Figura 74: Invocar subprograma

## B) Flexibowl

O Flexibowl é um sistema de alimentadores vibratórios (Figura 75), usado em diferentes situações: desde o ramo automóvel, cosmética, medicina, etc. Um dos principais motivos da sua utilização em diferentes ramos industriais é o facto de a sua geometria circular facilitar a utilização de vários tipos de materiais.

Este sistema difere do sistema Vibrain (marca patenteada e desenvolvida na Tojaltec), pela necessidade de um sistema de visão, recetor das luzes enviadas pelo Flexibowl, visualizando as zonas em que a luz não chega. Com essa informação, a câmara envia ao robô as informações relativas à posição e orientação da peça. Este alimentador vibratório possui um sistema de impulsão das peças, para lhes inculir um movimento giratório, e um sistema que permite a rotação do prato num determinado ângulo. Todas estas características podem ser alteradas num programa instalado num computador.



**Figura 75: Flexibowl**

(Retirada de: *Flexibowl - Instructions For Use and Warnings*)

No projeto desenvolvido na Tojaltec, foi usado o Flexibowl 500, com uma capacidade de carga da peça até 100g num total combinado de 7 kg, com máximo recomendado de 500 mm de tamanho. O objetivo da utilização do sistema vibratório Flexibowl seria dar a conhecer as funcionalidades e vantagens da utilização deste sistema integrado numa linha de montagem. Numa primeira instância seria ligado apenas para a demonstração das funcionalidades, não funcionando em sintonia com o robô (algo que posteriormente será efetuado, com recurso a uma câmara de visão com a devida programação, podendo-se retirar o máximo partido do sistema).

Para permitir a configuração do sistema Flexibowl é necessária a conexão a um computador, recorrendo a um programa apropriado para fazer se proceder às alterações necessárias (Figura 76). Para isto, deve-se abrir o programa e seguidamente, com um cabo ethernet, fazer a comunicação com o sistema, introduzindo-se posteriormente o IP indicado pelo fornecedor, terminando-se com a

alteração das configurações do computador. Concluídas as alterações, fica estabelecida a comunicação.

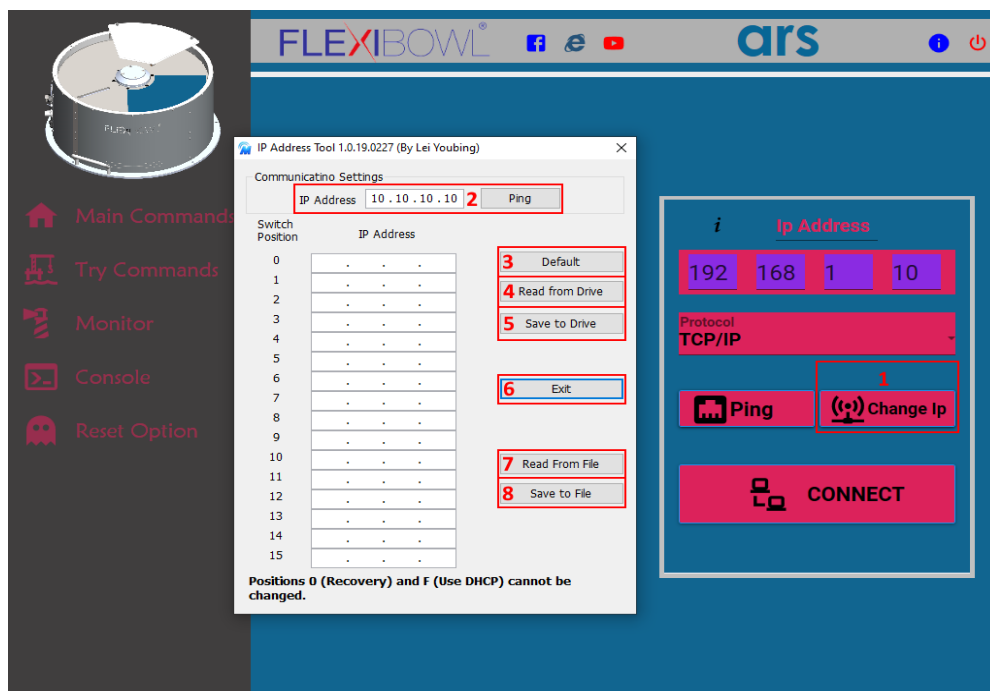
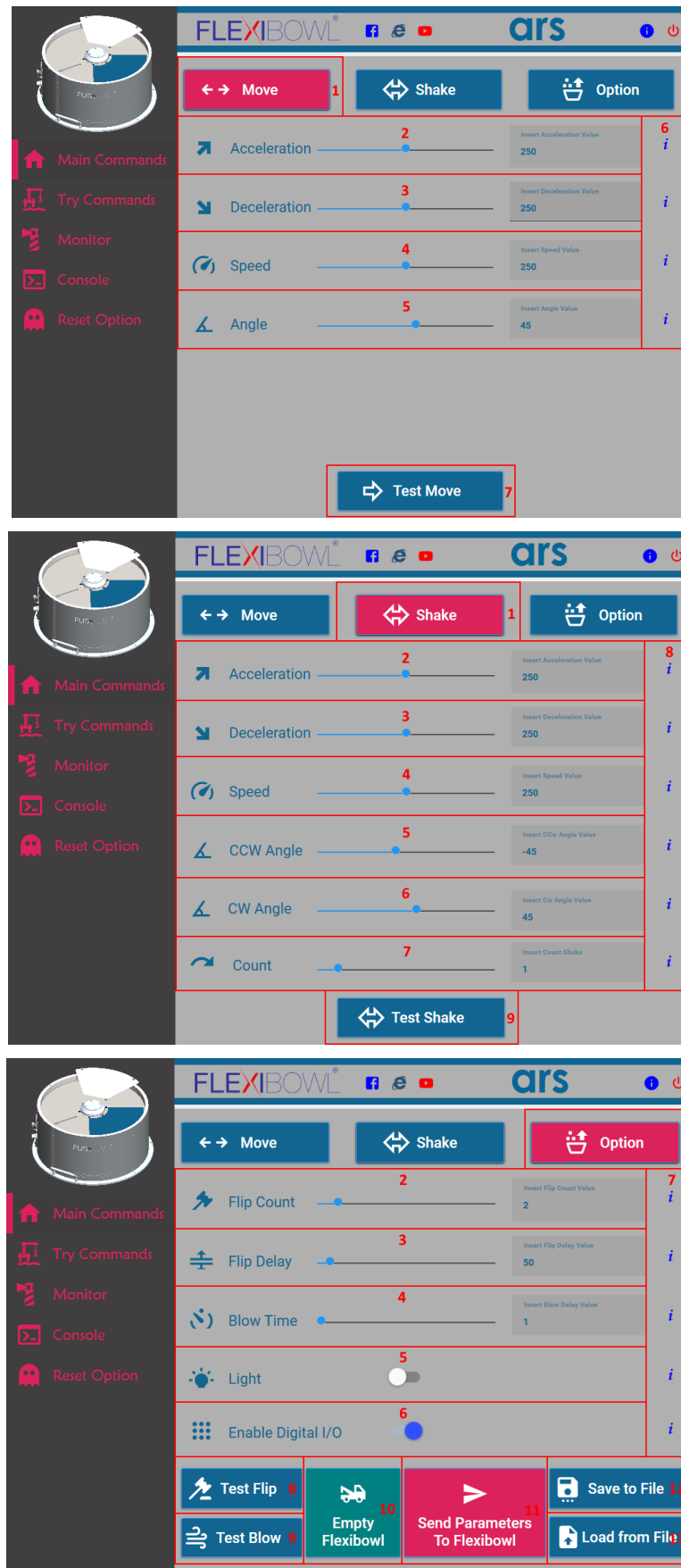


Figura 76: Ligação entre o computador e o Flexibowl

(Retirada de: *Flexibowl - Instructions For Use and Warnings*)

Após a conclusão da configuração do IP, podem ser efetuadas as alterações das características de vibração do Flexibowl. Como demonstrado na Figura 77, é possível alterar diversos parâmetros relativos ao modo como as peças se comportam: desde o ar impresso inferiormente (para facilitar o movimento), o número de avanços, de acelerações e de impulsos para lhes inculcir um movimento ascendente, até ao ângulo imposto na rotação. Todas estas características são configuráveis, para permitir a obtenção dos resultados pretendidos.

Para o projeto foram alterados alguns parâmetros, no entanto sem nenhum objetivo em mente, apenas no intuito de entender como é que as peças se comportavam com determinadas configurações.



**Figura 77: Programação do Flexibowl**

(Retirada de: *Flexibowl - Instructions For Use and Warnings*)

## **CAPÍTULO 4: CONCLUSÃO**

A *Tojaltec* é uma empresa com um vasto leque de clientes, com mais de 20 anos de experiência em mercados nacionais e internacionais em construção de máquinas especiais em demanda para os mais diversos tipos de projeto. Ao longo do percurso do estágio foi possível observar diferentes técnicas de automatização de linhas de fabrico e montagem, bem como a importância dos meios robotizados nestas linhas e como estes se integram e agilizam o ciclo do produto.

Tendo em conta que os serviços prestados pela empresa são vastos e baseados na necessidade do cliente, foi necessário abordar diversas temáticas na construção e na montagem destes equipamentos de elevada complexidade, sendo frequente envolverem durante muitos meses equipas com conhecimentos bastante diversificados, permitindo por este motivo consolidar os conhecimentos obtidos durante o percurso académico. Adicionalmente, um fator preponderante na escolha desta temática como Dissertação de Mestrado, foi a baixa ênfase dada quer à robotização industrial, quer à robotização colaborativa durante o percurso académico do estagiário.

Um dos objetivos do estágio foi a passagem por todos os setores da empresa de forma a compreender e conhecer cada um dos setores e o modo como estes interagem entre si na fluidez da obtenção do produto final, bem como a sua qualidade. Essa passagem, para além de ter proporcionado conhecimentos técnicos, possibilitou também uma maior interação e adaptação em todos os setores da empresa, devido à interação com os diversos setores ao longo dos meses.

Na área de maquinação o estagiário pode ter contacto com diversos tipos de materiais e diversas técnicas de maquinação e, principalmente, teve a oportunidade de colocar em prática alguns conceitos adquiridos no curso de Engenharia Mecânica, aquando da produção de diferentes peças.

No setor da montagem o estagiário teve a oportunidade de presenciar e colaborar no processo de elaboração de projeto e compreender o processo evolutivo que estes sofrem, estando atento a eventuais falhas e à forma de minimizar erros de projeto. Além disso, foi importante compreender modos alternativos de conceção, para ultrapassar dificuldades que surgem na altura da montagem final dos equipamentos. A passagem pela montagem serviu também de aprendizagem sobre como é que determinadas estruturas são montadas, conferindo uma maior confiança na montagem do projeto final.

A realização do projeto da bancada Flexibowl tratou-se da protagonista principal na interação com a robótica, dando ao estagiário a oportunidade de desenvolver um tema em expansão no mundo industrial, tendo um papel central na conceção de um equipamento cujo custo final ultrapassa os 50 000€. Com a realização do projeto, concluiu-se que de facto a robótica colaborativa traz imensas vantagens tanto para pequenas como para médias empresas, dada a facilidade de programação e

adaptabilidade. O robô colaborativo confere assim uma flexibilidade nas operações nas quais o robô poderá ser colocado, sem a necessidade de uma programação vasta, sendo assim acessível a qualquer trabalhador consoante a necessidade. Trata-se de um projeto a desenvolver em maior grau no futuro, com a introdução da câmara de visão para uma colaboração mais efetiva entre o sistema Flexibowl e o robô, um tema de grande motivação, permitindo desta forma a total utilização das capacidades deste projeto.

É da opinião do estagiário que o contacto com a robótica deva estar mais presente no plano curricular uma vez que, cada vez mais se trata de uma área importante para os profissionais deste meio. Em suma, a realização deste estágio correspondeu a uma experiência bastante enriquecedora a nível dos conhecimentos aplicados às necessidades da indústria, quer a nível das relações interpessoais e da interligação entre setores e com o cliente num ambiente empresarial.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abreu, P (2002). *Robótica Industrial – aplicações industriais de robôs*. Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Bahrin, M. A. K et al (2016). *Industry 4.0: A review on industrial automation and robotic*. Jurnal Teknologi.
- Collins, D (2018). <https://www.linearmotiontips.com/what-is-a-cartesian-robot>. What is a cartesian robot?
- Desconhecido (2011). <https://www.leonardodavinci.net/robotic-knight.jsp>. Robotic Knight - by Leonardo da Vinci.
- Dynapar (2019). [https://www.dynapar.com/technology/encoder\\_basics/resolvers](https://www.dynapar.com/technology/encoder_basics/resolvers). What is a resolver?
- Erboz G (2017). *How to define industry 4.0: the main pillars of industry 4.0*. International Scientific Conference Managerial Trends in the Development of Enterprise in Globalization Era - Slovak University of Agriculture in Nitra
- Espinel, V et al (2015). *Deep Shift, Technology Tipping Points and Societal Impact - Survey Report*. WEF
- FANUC (2020). <https://www.fanuc.eu/pt/pt/robôs/página-filtro-robôs/scara-series>. Robôs SCARA.
- Grau, A et al (2017). *Industrial robotics in factory automation: From the early stage to the Internet of Things*. IECON 2017 - 43rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society.
- Holmström, J et al (2016). *The direct digital manufacturing (r)evolution: definition of a research agenda*. Operations Management Research.
- IFM Electronic (2021). <https://www.ifm.com>. Encoders.
- ISO (2011). <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:10218:-2:ed-1:v1:en>. ISO 10218
- ISO (2016). <https://www.iso.org/standard/62996.html>. ISO/TS 15066.
- Joseph, L (2020). <https://robocademy.com>. How to choose an actuator for your robot?
- Kang, H et al (2016). *Smart manufacturing: past research, present findings, and future directions*. International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology, v.3, n.1, p.111-128
- Landherr, M et al (2016). *The Application Center Industrie 4.0 - Industry-driven Manufacturing, Research and Development*. Procedia CIRP.
- MacKenzie, H (2015) <http://www.belden.com/blog/industrialethernet/The-Smart-Factory-of-the-Future-Part-1.cfm>. “The Smart Factory of the Future – Part 1”.
- Mendes Lopes, A e Tenreiro Machado, J.A (2002). *Modelização cinemática de um robot industrial*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

- Mineiro, N (2012). *Estado da Arte da Robótica Industrial em Portugal*. Robótica - Revista Técnico-Científica, nº 87.
- Moura, J (2012). *Braço robótico antropomórfico: uma solução cinemática*. Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro.
- Pentikainen, T et al (2016). *How to make collaborative robot programming easier*. Teknisk- naturvetenskaplig fakultet UTH-enheten
- Platbrood, F e Görnemann, O (2018). *Safe robotics – A segurança em sistemas robóticos colaborativos*. Sick – Sensor Intelligence.
- Pilz (2018). <https://www.pilz.com/pt-PT/company/news/articles/196225>. Revisão da norma de segurança ISO para robôs industriais.
- Pires, J (2007). *Automação Industrial – 4ª edição*. Lisboa: ETEP – Edições Técnicas e Profissionais.
- Posada, J et al (2015). *Visual computing as a key enabling technology for industrie 4.0 and industrial internet*. IEEE Computer Graphics and Applications, v.35, n.2, p.26-40
- Postscapes (2019). <https://www.postscapes.com/iot-history>. Internet of Things (IoT) History.
- Rennung, F et al (2016). *Service Provision in the Framework of Industry 4.0*. Procedia - Social and Behavioral Sciences.
- Ribeiro, M.I (2004). *Sensores em Robótica*. Enciclopedia Activa Multimedia, volume de Tecnologias, Lexicultural, pp. 228-229
- Rüssmann, M et al (2015). *Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries*. The Boston Consulting Group.
- Santos, P.A et al (2017). *Movimentos Robóticos Combinado com Cálculos Matemáticos*. IV World Congress on Systems Engineering and Information Technology.
- Santos, V.M.F (2003). *Robótica Industrial*. Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Aveiro.
- Schwab, K (2016). *Historical context*. The Fourth Industrial Revolution, WEF.
- Shafiq, S et al (2015). *Virtual engineering object/ virtual engineering process: aspecialized form of cyber physical system for industrie 4.0*. Procedia Computer Science, v.60, p.1146-1155,
- Silva, R (2012). *A automação industrial é a tecnologia de aplicação*. Robótica - Revista Técnico-Científica, nº 87.
- Silveira, C.B (2016). <http://www.citisystems.com.br/industria-4-0>. Indústria 4.0: O que é, e como ela vai impactar o mundo.

Simons, S et al (2017). *Learning in the AutFab – The Fully Automated Industrie 4.0 Learning Factory of the University of Applied Sciences Darmstadt*. Procedia Manufacturing.

Technavio (2018). <https://blog.technavio.com/blog/major-types-of-industrial-robots>. 6 Major Types of Industrial Robots Used in the Global Manufacturing 2018

Thiemermann, S (2005). *Direkte Mensch-Roboter-Kooperation in der Kleinteilemontage mit einem SCARA-Roboter*. Dissertação, Universidade de Estugarda.

Tojaltec (2021a). <http://www.tojaltec.com/apresentacao.html>. Tojaltec – Apresentação (página internet oficial).

Tojaltec (2021b). <http://www.tojaltec.com/estrutura.html>. Tojaltec – Estrutura (página internet oficial).

Tojaltec (2021c). <http://www.tojaltec.com/SEngIndustrial.html>. Tojaltec – Engenharia Industrial (página internet oficial).

Tojaltec (2021d). <http://www.tojaltec.com/fabricoCNC.html>. Tojaltec – Fabrico CNC (página internet oficial).

Tojaltec (2021e). <http://www.tojaltec.com/vibrain.html>. Tojaltec – Vibrain (página internet oficial).

Torres, L.A.B (2011). *Sensores de Posição, Deslocamento e Deformação*. Universidade Federal de Minas Gerais.

Universal Robots (2018). <https://www.universal-robots.com/pt/produtos>. Robôs Colaborativos da Universal Robots.

Vagas, M et al (2015). *The concept of human-robot cooperation*. Transfer inovácií 32/2015

Zhang, Y et al (2017). *A big data analytics architecture for cleaner manufacturing and maintenance processes of complex products*. Journal of Cleaner Production.

Zheng, X et al (2014). *Cloud service negotiation in internet of things environment: A mixed approach*. IEEE, Transactions on Industrial Informatics.

Zvei Die Elektroindustrie (2016). *Implementation strategy on industrie 4.0, report on the results of the industrie 4.0 platform*. Berlin: Bitkom; VDMA;

## ANEXOS

### Anexo 1 – Programação do Robô do Projeto: Bancada Flexibowl

