



**INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA**  
Escola Superior de Tecnologia e de Gestão

# **Implementação de Sistemas Robotizados para Manipulação e Transporte de Tecidos e Malhas entre Diferentes Fases da Indústria Têxtil**

Andreia Cristina Lopes da Silva

Relatório Final de Estágio Profissional apresentado à Escola  
Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico  
de Bragança para obtenção do Grau de Mestre  
em Engenharia Mecânica

Orientada pelo Prof. José Barbosa

Bragança

Outubro, 2024



# **Implementação de Sistemas Robotizados para Manipulação e Transporte de Tecidos e Malhas entre Diferentes Fases da Indústria Têxtil**

Andreia Cristina Lopes da Silva

Relatório Final de Estágio Profissional apresentado à Escola  
Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico  
de Bragança para obtenção do Grau de Mestre  
em Engenharia Mecânica

Orientada pelo Prof. José Barbosa

Bragança

Outubro, 2024

*“Vola solo chi osa farlo.”*

Luis Sepùlveda

# Agradecimentos

Nenhum agradecimento é suficiente para expressar toda a gratidão que carrego em mim. Ainda assim, deixo o mais profundo e sincero agradecimento aos meus pais, Cristina e Rui, por nunca me faltar amor, por todo o apoio inalcançável, por me fornecerem todas as condições necessárias e pela forma como me moldaram até aqui. Sou-lhes eternamente grata. Agradeço também à minha irmã, Ana, doce e determinada, que me incentivou a ser mais dedicada e a vencer este desafio.

Não posso deixar de homenagear os meus queridos avós, Irene, Branco, Lúcia e Lopes, por todo o carinho que me dão e pela força e coragem que me foram transmitindo ao longo dos anos. Sei que estão a transbordar de orgulho por ter finalizado esta etapa, e não há nada que me deixe mais feliz.

O meu sincero obrigada aos meus padrinhos, pilares essenciais sempre com um ombro amigo, e aos meus primos que tornam a minha vida muito mais colorida.

A minha vontade de singrar deve-se a todos eles.

Agradeço também ao meu orientador Professor José Barbosa, do Instituto Politécnico de Bragança, por toda a atenção e disponibilidade, e ainda, ao meu supervisor Engenheiro Reinaldo Ribeiro, da empresa ESI Robotics, pela oportunidade e confiança depositada.

Sem esquecer os meus amigos, minhotos e transmontanos, por serem, todos os dias, uma fonte de alegria, companheirismo e descontração.

Obrigada.

Andreia Silva

# Resumo

Para conclusão do Mestrado de Engenharia Mecânica, no Instituto Politécnico de Bragança, foi realizado um estágio curricular na empresa ESI Robotics, sediada em Vila Nova de Famalicão.

O presente projeto foi pensado com o objetivo de solucionar a área têxtil, automatizando o maior número de tarefas possível. Para isso, foca-se em desenvolver um *gripper*, devidamente adequado, que, quando acoplado ao robô, e após realizada a programação do mesmo, execute o transporte e manipulação de tecidos e malhas até à máquina de costura, e que realize o processo de corte e cose das costuras laterais, sem o auxílio de qualquer operador. Um dos fatores que faz deste projeto um enorme desafio é a maleabilidade presente nas áreas de atuação das *t-shirts*.

Para que este desafio fosse superado, estudou-se a diferença de comportamentos entre tecidos e malhas, juntamente com o atrito existente durante o transporte de cada um.

Palavras-Chave: Automação, Robótica, Robótica Industrial, Indústria 4.0, *Gripper*, Manipulação, Indústria Têxtil.

# Abstract

To complete my Master's degree in Mechanical Engineering at the Polytechnic Institute of Bragança, I undertook a curricular internship at ESI Robotics, a company based in Vila Nova de Famalicão.

This project was conceived with the aim of solving that dependence in textile industry by automating as many tasks as possible. To do this, it focuses on developing a gripper, suitably adapted, which, when coupled to the robot, and once it has been programmed, carries out the transport and handling of fabrics and knits to the sewing machine, and also the process of cutting and sewing the side seams, without need for an operator intervention. One of the factors that makes this project a huge challenge is the malleability present in the areas of operation of t-shirts.

In order to overcome this challenge, the difference in behaviour between fabrics and knits was studied, along with the friction that occurs during the transport of each one.

Keywords: Automation, Robotics, Industrial Robotics, Industry 4.0, Gripper, Manipulation, Textile Industry.

# Índice

Agradecimentos .....	v
Resumo .....	vi
Abstract.....	vii
1. Introdução.....	1
1.1. Contextualização .....	1
1.2. Objetivos .....	2
1.3. Empresa ESI Robotics .....	2
1.3.1. Análise da Empresa ESI Robotics .....	3
1.3.2. Produtividade .....	3
1.4. Estrutura do Relatório Final de Estágio Profissional .....	4
2. Estado de Arte .....	5
2.1. Robótica .....	5
2.1.1. Contexto Histórico.....	5
2.1.2. Robótica na Indústria.....	8
2.1.3. Robôs Industriais.....	13
2.1.4. Robôs Colaborativos ou <i>Cobots</i> .....	14
2.1.5. Componentes de um Robô .....	16
2.1.6. Interação Operador-Robô .....	19
2.1.7. Grippers ou Garras .....	20
2.1.8. Futuro da Robótica .....	23
2.2. Automação .....	23
2.2.1. Automação Fixa .....	24
2.2.2. Automação Flexível .....	24
2.2.3. Automação Programável .....	25
2.3. Aplicações Informáticas de Suporte à Digitalização.....	25
2.3.1. Autodesk Inventor.....	26
3. Manipulação e Transporte de Tecidos e Malhas .....	27
3.1. Caracterização do Projeto .....	27
3.2.1. Principais Desafios.....	30
3.2. Robô Utilizado.....	31
3.3. Simulação do Espaço de Trabalho .....	32
4. Testes Experimentais e Discussão de Resultados .....	43

4.1.	Testes Realizados Manualmente.....	43
4.2.	Gripper Desenvolvido na Empresa ESI Robotics .....	49
4.3.	Testes Realizados com o Robô.....	57
5.	Conclusão .....	64
5.1.	Síntese do Trabalho Desenvolvido .....	64
5.2.	Perspetivas Futuras.....	65
	Bibliografia.....	67

## Lista de Figuras

Figura 1- Logótipo da Empresa .....	3
Figura 2- Unimate, O Primeiro Robô Industrial [3] .....	6
Figura 3- Gráfico Representativo da Evolução de Trabalhadores com mais de 50 anos, na Indústria Têxtil .....	10
Figura 4- Gráfico Ilustrativo da Percentagem do N° de Colaboradores, por Sexo.....	11
Figura 5- Gráfico Ilustrativo da Percentagem Referente às Habilitações Literárias dos Trabalhadores .....	12
Figura 6- Robô Industrial [23].....	14
Figura 7- Robô Colaborativo [24] .....	15
Figura 8- a) Junta Prismática, b) Junta Rotativa e c) Junta Esférica .....	18
Figura 9- Primeiro Gripper Desenvolvido [35] .....	20
Figura 10- Tape gripper [36].....	21
Figura 11- Normas Internacionais das Interfaces Mecânicas [37] .....	22
Figura 12- Gráfico que Relaciona o Volume de Produção com a Variedade dos Produtos, nos Diferentes Tipos de Automação .....	25
Figura 13- Parte da Linha de Produção Automatizada no Presente Projeto .....	28
Figura 14- Siruba .....	29
Figura 15- Peça Retirada do Espaço de Trabalho pela Siruba.....	29
Figura 16- Idealização da Automação Completa da Linha de Produção de T-Shirts	30
Figura 17- Robô Colaborativo CRX-20iA/L – FANUC [29].....	31
Figura 18- Simulação do Chão de Fábrica .....	32
Figura 19- Perfil Utilizado no Desenvolvimento da Mesa .....	33
Figura 20- Estrutura da Mesa de Trabalho .....	33
Figura 21- Cantoneira Utilizada para Fixação da Estrutura da Mesa.....	34
Figura 22- Tampa da Mesa de Trabalho .....	34
Figura 23- Máquina de Costura Utilizada para Simulação do Espaço de Trabalho .....	35
Figura 24- Mesa de Trabalho Concluída com Máquina de Costura Anexada.....	36
Figura 25- Robô colaborativo Utilizado nos Testes Experimentais .....	36
Figura 26- Base do Pedestal .....	37
Figura 27- Estrutura que dá Altura Necessária ao Pedestal.....	37
Figura 28- Topo do Pedestal .....	38
Figura 29- Pedestal Montado com Varões Roscados e Cordões de Soldadura .....	39

Figura 30- Inclusão do Pedestal e do Robô ao Espaço de Trabalho.....	40
Figura 31- Frente da T-Shirt .....	41
Figura 32- Costas da T-Shirt.....	41
Figura 33- Simulação do Espaço de Trabalho Concluída .....	42
Figura 34- Malha Utilizada nos Testes Experimentais .....	43
Figura 35- Tecido de Camisa Utilizado nos Testes Experimentais .....	44
Figura 36- Frente e Costas das T-shirts, representadas pelas letras a) e b), respectivamente .....	44
Figura 37- Primeira Placa de Policarbonato Utilizada .....	45
Figura 38- Margem de Tecido Deixada para Realização das Costuras Laterais .....	46
Figura 39- Segunda Placa Utilizada com Adição de Tiras de Velcro .....	47
Figura 40- Primeiras T-shirts Costuradas Com Manipulação Manual da Placa de Policarbonato .....	48
Figura 41- Perfil de Alumínio 30x60, utilizado na Matriz .....	49
Figura 42- Assemblagem dos Perfis de Alumínio de 250mm e de 500mm .....	50
Figura 43- Cantoneira Utilizada para Fixação da Matriz .....	50
Figura 44- Chapa que servirá de Elo .....	51
Figura 45- Flange do Robô [29] .....	51
Figura 46- Elo que estará situado entre o Robô e o Gripper .....	52
Figura 47- Conectores Utilizados no Elo .....	52
Figura 48- Matriz de Alumínio.....	53
Figura 49- Molde de Policarbonato .....	53
Figura 50- Molde de Policarbonato Sobreposto à T-Shirt a ser Costurada .....	54
Figura 51- Matriz com Ímanes Embutidos .....	55
Figura 52- Moldes das T-shirts S, M e L, demonstradas nas alíneas a), b) e c) respectivamente .....	55
Figura 53- Simulação do Espaço de Trabalho com Inserção do Gripper Final.....	56
Figura 54- Tabela de Propriedades do Conjunto Gripper + Policarbonato .....	57
Figura 55- Robô Colaborativo FANUC com Matriz Inserida .....	57
Figura 56- Autômato.....	58
Figura 57- Matriz com Fita de Vedação Autoadesiva para Criar Atrito .....	58
Figura 58- Consola com Programação Ponto a Ponto.....	59
Figura 59- Teste Experimental de Transporte da T-shirt ao Longo da Mesa (Posição Inicial).....	60

Figura 60- Teste Experimental de Transporte da T-shirt ao Longo da Mesa (Posição Final)	
.....	60
Figura 61- Único Movimento Não Automatizado .....	61
Figura 62- Tecido Sem Costura .....	61
Figura 63- Exemplo de Teste com Velocidades Não Compatíveis.....	62
Figura 64- Primeira Lateral Cosida com Manipulação da Matriz sem Policarbonato ...	62
Figura 65- Demonstração da Discrepância da Proximidade que se Conseguir Obter com a Matriz e com o Policarbonato.....	63

## Lista de Tabelas

Tabela 1- Dimensões das T-shirts para Tamanhos S, M e L .....	40
---	----

## Lista de Abreviaturas

ATP (Associação Têxtil e Vestuário de Portugal)

CAD- Computer Aided Design

cm- centímetros

DOF – Degrees of Liberty

ESI- Engenharia, Soluções e Inovação

INE (Instituto Nacional de Estatística)

IoT- Internet of Things

ISO- *International Organization for Standardization*

kg- quilogramas

mm- milímetros

mm/s – milímetros por segundo

3D- Três Dimensões

# Capítulo I

## 1. Introdução

Qualquer inovação que se introduza no nosso quotidiano, modifica tudo o que se conhece até então. O surgimento da automação e da robótica veio revolucionar o mundo, com destaque especial para as indústrias. As indústrias que optam por introduzir robôs nos seus métodos de processamento, alcançam inúmeras vantagens, tendo como principal, o aumento da produtividade.

Atualmente, grande parte das indústrias têm os robôs como componentes essenciais das suas linhas de produção. Os *grippers*, parte fundamental dos robôs, também têm um papel fundamental nas indústrias e, apesar de já haver um leque bastante variado, não existem, até ao momento, *grippers* adequados a todas as áreas e que realizem todas as tarefas necessárias. Isto significa que é importante continuar com a evolução desta área, visto que há cada vez mais processos que precisam de ser alvo de automatização.

### 1.1. Contextualização

A indústria têxtil é das mais antigas e importantes indústrias a nível mundial. Esta é a indústria que menos sofreu intervenção, no que diz respeito à automação e robotização, e, por isso, atualmente, ainda é muito moldada pela mão de obra disponível [1]. Para que seja possível o desenvolvimento e crescimento de qualquer empresa ligada a esta área, é crucial que a mão de obra seja abundante, caso contrário, não há produtividade e a empresa acabará por falir. Posto isto, percebe-se que, reduzir o impacto da falta de trabalhadores é um objetivo extremamente relevante para este setor.

Face aos factos apresentados, este projeto visa desenvolver soluções para automatizar algumas das tarefas mais desafiantes do setor têxtil.

## 1.2. Objetivos

Estudou-se a produtividade no setor têxtil, atendendo à sua importância na economia, e percebeu-se que, em países como, por exemplo, Portugal, a dependência de mão de obra é cada vez maior. Assim, em resposta aos problemas atuais desta indústria, o presente projeto procurou trazer novas soluções, e acredita-se que estas irão revolucionar todas as empresas ligadas a esta área, contribuindo para o aumento da produtividade.

O principal objetivo é automatizar várias etapas de uma linha de produção de *t-shirts*, diminuindo, drasticamente, a necessidade de intervenção humana. Será necessária a criação de um protótipo funcional, para que a manipulação de tecidos, entre as diferentes fases de costura, seja bem-sucedida. Para este projeto, é inevitável enfrentar vários desafios devido à enorme flexibilidade e porosidade dos tecidos que serão manuseados. É preciso considerar que o *gripper* não estrague a peça em questão, e que consiga lidar com a maleabilidade, irregularidades e dimensões variadas da mesma. É ainda imprescindível que exista uma pressão aplicada, pelo *gripper*, no tecido, para que este não apresente qualquer deformação no seu transporte entre etapas. Para ser possível superar todos os entraves, é essencial definir claramente os objetivos pretendidos e apresentar soluções para qualquer obstáculo que possa surgir.

No presente projeto espera-se conseguir automatizar alguns dos passos realizados pelas costureiras, nomeadamente, o corte e cose das costuras laterais e numa fase posterior, espera-se que este contenha a parte da “viragem” da *t-shirt* e da execução das bainhas.

Através da proposta apresentada, crê-se que o setor têxtil seja alvo de uma transição digital, em que serão adotadas tecnologias e soluções digitais, e que, deste modo, se torne competitivo nos mercados mundiais. Tornar-se-á mais resiliente, sustentável e sofisticado.

## 1.3. Empresa ESI Robotics

Esta empresa aposta essencialmente na automatização de processos, independentemente da área industrial. Para o projeto em questão, os estudos e os testes experimentais efetuados foram realizados nas suas instalações.

### 1.3.1. Análise da Empresa ESI Robotics

A ESI, (Engenharia, Soluções e Inovação), empresa de base tecnológica, cujo logótipo está representado na figura 1, foi criada por Gil Sousa, Luís Leitão e Reinaldo Ribeiro, em 2007, com o intuito de apoiar diversas empresas, tonando-as competitivas e rentáveis [2].



*Figura 1- Logótipo da Empresa*

Esta empresa trabalha em várias áreas, nomeadamente, I&D (Investigação e Desenvolvimento), mecânica, robótica e automação industrial. Oferece soluções independentes e integradas que passam pelo projeto, criação e instalação de soluções industriais; comercialização e serviços de mecânica, robótica e automação industrial, como referido anteriormente; e manutenção industrial [2].

Desenvolvem-se soluções industriais conforme as necessidades de cada cliente, com o objetivo de aumentar significativamente a sua produtividade [2]. Para isso, existe uma equipa multidisciplinar, que realiza todos os passos, do projeto à produção. Desenvolvem ideias desde o desenho à distribuição do produto final. Para a realização destes processos, são aplicados conceitos de Indústria 4.0 [2].

A ESI procura a inovação. Já abrange vários setores da indústria como, por exemplo, os setores alimentar, automóvel, cerâmica, construção, cortiça, madeiras, metalomecânica, médica e polímeros, e a tendência é continuar a crescer. [2].

### 1.3.2. Produtividade

A ESI tem como principal objetivo proporcionar investimentos altamente rentáveis, para que os seus clientes possam melhorar os processos produtivos, reduzir os custos de produção e aumentar a qualidade dos serviços, métodos e produtos. A criatividade funde-se com a funcionalidade [2].

A empresa procura sempre soluções eficientes e sustentáveis. [2].

## 1.4. Estrutura do Relatório Final de Estágio Profissional

O presente relatório final de estágio profissional, dividido em cinco capítulos, inicia o primeiro capítulo com uma contextualização e caracterização acerca do projeto desenvolvido, destacando os principais objetivos do mesmo, e apresenta, com especial destaque, a empresa ESI Robotics, onde foi desenvolvido o estágio profissional.

Seguidamente, no segundo capítulo são apresentados os temas relacionados com este projeto, nomeadamente, robótica e automação. Nesta fase, são abordados os principais conceitos envolvidos nos mesmos, e procura-se estabelecer um ponto de situação, relativamente aos *grippers* já existentes no mercado, para perceber a necessidade da criação de um novo *gripper*. Dentro deste capítulo é ainda abordado, de forma sucinta, o *software* utilizado para desenvolver este estudo.

Após feita a análise teórica, inicia-se o terceiro capítulo onde se apresenta, de forma detalhada, o objetivo do projeto, enumeram-se os principais desafios existentes na manipulação de tecidos e simula-se o espaço de trabalho.

No quarto capítulo segue-se a descrição, ao pormenor, de todos os processos realizados ao longo do desenvolvimento do *gripper*, acompanhados dos testes experimentais executados e dos problemas que foram surgindo, juntamente com as devidas soluções.

Em último lugar, no quinto capítulo, são descritas as conclusões adquiridas ao longo deste projeto e apresentam-se as perspetivas futuras relativamente à linha de produção que se pretende automatizar.

# Capítulo II

## 2. Estado de Arte

Este terceiro capítulo é destinado à exposição teórica de todos os temas que estão interligados com o projeto em questão. A partir deste enquadramento teórico, consegue-se compreender qual o ponto de situação, atual e mundial, da área em estudo, permitindo alcançar com maior facilidade os objetivos pretendidos inicialmente. Os assuntos abordados permitem compreender qual a influência da robótica e da automação na indústria têxtil, e adquirir uma melhor compreensão do projeto realizado.

### 2.1. Robótica

A área da robótica é altamente inovadora e versátil, uma vez que abrange diversas áreas e a sua tendência é expandir-se ainda mais. Nos dias de hoje, os robôs estão cada vez mais avançados e semelhantes a um braço humano sendo possível identificar o tronco, o braço, o antebraço e a mão, unidos pelas juntas flexíveis, definidas, geralmente, como ombro, cotovelo e pulso [3].

Os robôs estão presentes em grande parte das indústrias e, atualmente, a sua procura encontra-se em constante crescimento. O aumento da procura fez com que fosse necessário adaptar a programação dos robôs e torná-la menos complexa, para que mais pessoas tenham a capacidade de programar. Esta acessibilidade para programar converteu-se num fator significativo para a robótica, pois veio aumentar drasticamente a sua participação nos processos de produção e ainda, as suas áreas de atuação [3].

#### 2.1.1. Contexto Histórico

A ideia de autómatos surge de figuras históricas como Leonardo da Vinci e Aristóteles. No entanto, o pioneiro do termo “robô” foi Karel Capek, novelista e escritor,

que numa das suas peças teatrais, em 1920, utilizou, pela primeira vez, a palavra “robota”. Nesta altura, a robótica deixou de fazer parte do imaginário, passando a ser chave para a evolução da indústria, a nível global [4].

Após o surgimento da palavra, George C. Devol introduz o primeiro robô industrial do mundo, o *Unimate*, em 1948, demonstrado na figura 2. No entanto, quem comercializou a ideia deste *Unimate* foi Joseph Engelberger, acabando por ficar com o título de “Pai da Robótica”. Este foi, sem dúvida, um dos marcos mais importantes da história da robótica [4].

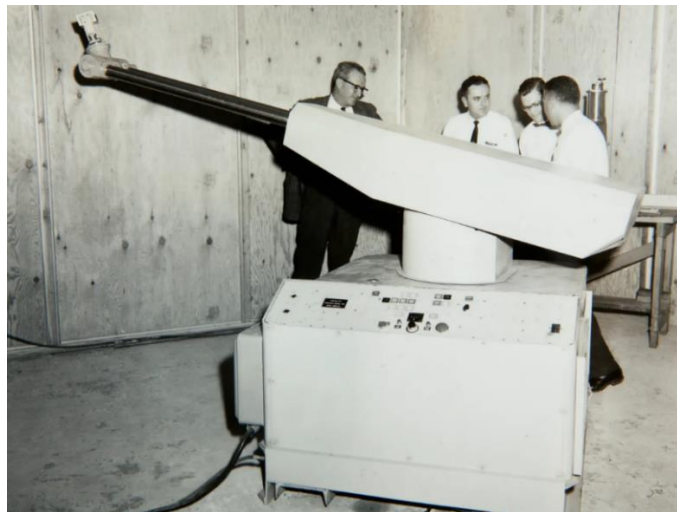


Figura 2- *Unimate*, O Primeiro Robô Industrial [3]

A robótica tem desempenhado um papel crucial no desenvolvimento industrial, desde os primeiros robôs até aos sistemas mais sofisticados dos dias de hoje. Foram surgindo avanços tecnológicos que fizeram da robótica uma área bastante mais avançada e incomparável, devido à integração da Internet of Things (IoT) e da inteligência artificial. As indústrias 4.0 e 5.0 surgiram como transição entre sistemas industriais e possibilitaram a criação de fábricas inteligentes e interconectadas, tornando os robôs adaptáveis, em constante comunicação com outros dispositivos e capazes de aprender a desempenhar novas funções. Este marco histórico veio permitir um aumento exponencial de eficiência, precisão e produção em massa, o que era impensável anteriormente.

#### 2.1.1.1. Indústria 4.0

Nesta indústria, a IoT veio permitir a existência de uma conexão entre todos os dispositivos, sensores, equipamentos e sistemas de análise de dados, para que haja comunicação e troca de informações entre os mesmos [2].

Com esta ligação dos equipamentos e analisando os dados obtidos, é possível otimizar e, por conseguinte, reduzir os custos de produção. Formou-se então, o desenvolvimento de um processo mais eficaz e detalhado [2].

#### 2.1.1.2. Indústria 5.0

A indústria 5.0 é a evolução natural da indústria 4.0. É a virada de página. Adiciona o ser humano à indústria 4.0. Aprimora a interação homem-robô e evolui, tornando mais poderosos, os sistemas ciberfísicos, a inteligência artificial e a robótica, procurando ainda trazer benefícios para o ser humano. Reconhece que o potencial do ser humano e os avanços robóticos são de igual valor no processo de fabricação, e pretende melhorar a eficiência e a produtividade, assim como assegurar o máximo de segurança no ambiente de trabalho. Além dos resultados financeiros obtidos, a indústria 5.0 tem como principal objetivo aumentar a sustentabilidade e a qualidade de vida dos trabalhadores, otimizando a eficiência humana [5].

Esta indústria procura combinar as habilidades únicas do ser humano como, por exemplo, a criatividade, a intuição ou as tomadas de decisão, com as capacidades das máquinas para alcançar novas inovações e desempenhos ao longo da produção. Ou seja, a indústria 5.0 pretende que os sistemas inteligentes possuam um “toque humano” [5].

A indústria 5.0 veio ainda eliminar a ideia de que os seres humanos iriam ser substituídos pelos robôs, uma vez que nela existe cooperação total entre colaboradores e máquinas. Os processos são realizados de uma forma mais econômica, assertiva e lucrativa, procurando reduzir o impacto ambiental [5]. De forma sucinta, corrobora-se que há a conjugação entre a tecnologia, a preservação do meio ambiente e a comodidade do ser humano.

#### 2.1.1.3. Impacto da Inteligência Artificial na Indústria

A inteligência artificial é um dos pilares do mercado da tecnologia. Nos dias de hoje, a inteligência artificial tem delineado o futuro de muitas empresas porque permite agilidade na produção dos projetos e, como consequência, aumenta a produtividade da empresa [6]. É capaz de analisar e processar volumes absurdos de dados, num período reduzido, o que humanamente seria impossível [7]. Além disso, cria ambientes de trabalho mais seguros proporcionando uma melhor qualidade de vida aos trabalhadores [6]. Apesar destas evoluções apresentadas, a inteligência artificial é ainda capaz de avaliar projetos e identificar pontos que podem ser melhorados, possibilitando simulações dos

mesmos antes de serem colocados em produção. Isto é uma das principais vantagens da inteligência artificial [8].

Esta tecnologia também foi desenvolvida com o propósito de se utilizar o menor número possível de recursos, tanto de matéria-prima como de energia. A redução de recursos utilizados gerou uma diminuição notável dos custos operacionais [8]. A inteligência artificial é essencial para impulsionar a automatização. São, efetivamente, notáveis os impactos positivos relativamente à qualidade dos produtos e à gestão dos custos precisos [9].

## 2.1.2. Robótica na Indústria

A robótica industrial é uma área da engenharia considerada um dos pilares da quarta revolução industrial. Esta tecnologia contribui constantemente para o crescimento industrial, através de réplicas de movimentos humanos [2].

### 2.1.2.1. Robótica na Indústria Têxtil

Uma das áreas que a robótica está a revolucionar é a indústria têxtil. No entanto, para avaliar e reconhecer a histórica importância deste setor, é obrigatório recuar no tempo.

Como se sabe, atualmente, há cada vez menos pessoas interessadas em trabalhar na indústria têxtil, principalmente na área de costura que é das mais intensivas fisicamente. É uma área que já não atrai gerações mais jovens, como acontecia em tempos não muito distantes. Antigamente, na falta de escolha e de escolaridade, mulheres e crianças, sujeitavam-se a estes postos de trabalho. No entanto, hoje em dia, com a quantidade de população instruída, são raras as pessoas que procuram trabalho em fábricas de confecção. Esta dependência de mão de obra nota-se cada vez mais e, por isso, surge a ideia de que automatizar várias etapas durante o processo de costura é uma boa opção [10].

Em países orientais como, por exemplo, a China, onde são feitas produções em massa e onde a mão de obra é extremamente barata (porque há em abundância), acaba por compensar o trabalho das fábricas tradicionais. Ainda assim, nesses países já existem fábricas onde o processo de corte dos moldes é aplicado para inúmeras *t-shirts* em simultâneo, assim como o processo de engomar e de estampagem que são realizados por prensas industriais pré-aquecidas. Mesmo com alguns processos minimamente automatizados, o trabalho mais relevante desta produção, nomeadamente, as costuras

laterais, ombreiras, bainhas, aplicação de golas, mangas e etiquetas, carece indubitavelmente de operadores [10].

Em países europeus como Portugal, onde a escassez de recursos humanos se está a tornar um problema grave, é fundamental que apareçam soluções alternativas para que as fábricas não deixem de produzir [10].

Antes de qualquer investimento, é essencial estudar a produtividade deste setor para compreender de que forma se poderá melhorar o desempenho desta indústria.

Atualmente, com o aumento do custo da mão de obra, com a escassez de trabalhadores qualificados, e com a constante conscientização ambiental e social, na indústria têxtil, torna-se imperativo otimizar a produção da mesma. Para isso, tenciona-se investir na automatização de processos onde é possível substituir a mão de obra humana. Desta forma, baixar-se-ão os custos, melhorar-se-á a qualidade das peças, aumentar-se-á a produção e evitar-se-ão erros ou desperdícios, visto que as máquinas têm a vantagem de operar com elevada precisão e consistência, durante longos períodos, até 24h, sem precisar de qualquer descanso [11] [12]. Crê-se que a robotização e a automatização são, então, a solução para esta área.

Até aos dias de hoje, a robótica e a automação na área têxtil são quase inexistentes. Tendo em conta que todos os tecidos são maleáveis, de fácil deformação e, por isso, de difícil manuseio para os robôs, é fundamental considerar todas as possibilidades, para que todo o processo de transporte e manipulação dos tecidos seja realizado com sucesso. O facto de possuírem estas características físicas, tornam este projeto muito mais desafiante [10]. Embora os robôs industriais estejam implementados, universalmente, em várias áreas da indústria, até então, estes robôs não tinham sido utilizados na indústria têxtil devido aos entraves referidos anteriormente [13].

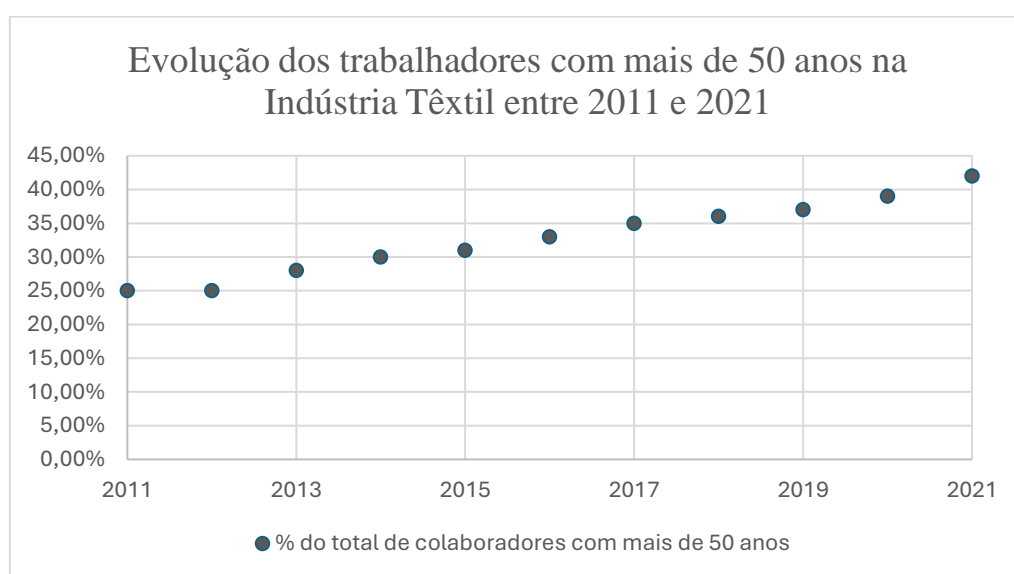
#### 2.1.2.1.1. Análise da Indústria Têxtil a Nível Europeu

Através de dados disponibilizados pela *Euratex*, em 2022, comprova-se que as exportações europeias aumentaram 15%, mas, em contrapartida, as importações dispararam para 30%. Neste setor, o défice comercial da Europa cresceu cerca de 48%, atingindo um total de 70 mil milhões de euros, aproximadamente [14].

Tudo isto se deve ao aumento dos custos de produção, provocados pelo aumento do custo de energia. Isto afeta de forma significativa os custos operacionais e a rentabilidade

das empresas, que, por sua vez, provocam a diminuição da produção. Outra das causas que originam o aumento dos custos de produção é a despesa em mão de obra. A indústria têxtil é dos setores que mais depende da mão humana, numa altura em que a Europa enfrenta uma crise de recursos humanos [14].

No gráfico que se segue (figura 3), é possível observar o aumento de colaboradores, com mais de 50 anos, na indústria têxtil, numa margem de 10 anos.



*Figura 3- Gráfico Representativo da Evolução de Trabalhadores com mais de 50 anos, na Indústria Têxtil*

#### 2.1.2.1.2. Análise da Indústria Têxtil em Portugal

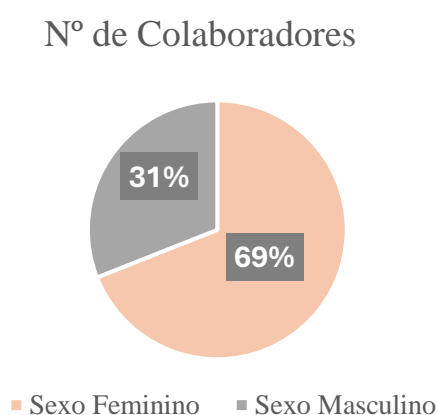
A indústria têxtil é das mais antigas indústrias portuguesas e, atualmente, é das mais impactantes na indústria em geral. Desde o seu surgimento que este setor é assegurado, maioritariamente, por mulheres. Elas foram o público-alvo mais explorado durante todo este processo de evolução da indústria têxtil [15].

Com uma análise de dados conseguida a partir de um estudo realizado em 2015, em Portugal Continental, consegue-se perceber a discrepância existente entre o número de colaboradores do sexo masculino e feminino, a distribuição das empresas têxteis por região, ao longo do país e, ainda, os baixos níveis de habilitações da maioria das pessoas que lá trabalham [17].

Analisando o gráfico referente ao sexo dos colaboradores, apresentado na figura 4, pode-se observar que a percentagem do sexo masculino já é, de facto, notável, coisa que há uns anos era totalmente impensável [16].

Sabendo que existe um total de 163 355 operadores dedicados à área têxtil, realizou-se a primeira análise, onde se concluiu, como previsto, que predomina o sexo feminino, com 112 668 colaboradoras, equivalente a 69% do total de operadores, seguido do sexo masculino, com 50 687 colaboradores, que equivale a 31% [17].

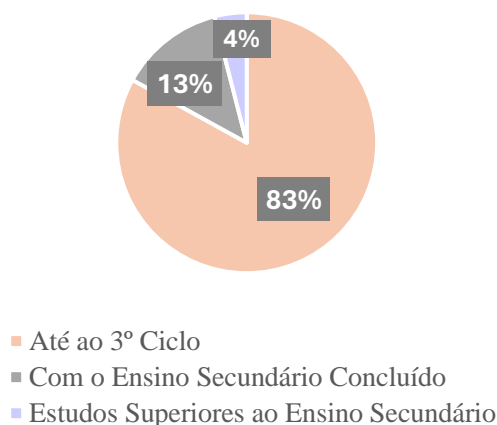
Pode-se verificar esta grande discrepância no gráfico que segue, figura 4.



*Figura 4- Gráfico Ilustrativo da Percentagem do Nº de Colaboradores, por Sexo*

É ainda de destacar que, neste setor, existe predominância de pessoas com poucas qualificações, ou seja, escolaridade reduzida, tendo, por isso, uma formação insuficiente [18]. Analisando novamente os dados disponíveis, do número total de colaboradores da área têxtil, 163 355, obtém-se um valor de 135 036 operadores com escolaridade até ao 3º ciclo do Ensino Básico, nomeadamente, 9º ano, 22 165 com o ensino secundário concluído e apenas 6 154 com estudos acima do 12º ano. Para uma melhor perceção das qualificações dos trabalhadores, realizou-se o gráfico que se segue, na figura 5 [17].

## Habilitações Literárias



*Figura 5- Gráfico Ilustrativo da Percentagem Referente às Habilitações Literárias dos Trabalhadores*

O facto de a escolaridade deste setor ser muito baixa acaba por condicionar a sua própria evolução, e, neste momento, é fundamental tecer o futuro da confeção [19].

Relativamente à distribuição de empresas a nível nacional, este setor industrial encontra-se concentrado geograficamente na região do Norte, com especial destaque para as cidades Porto, Braga, Famalicão e Guimarães, e, além desta região, é de ainda salientar o leste de Portugal, nomeadamente, a Covilhã [20].

De acordo com a ATP (Associação Têxtil e Vestuário de Portugal) e dos resultados estatísticos partilhados pelo INE (Instituto Nacional de Estatística), confirma-se que a indústria têxtil e de vestuário é das indústrias mais importantes para a economia portuguesa. Esta indústria representa 10% do número total de exportações portuguesas, 20% do emprego da indústria transformadora (indústria que transforma matérias-primas em tecidos, por exemplo), 9% do volume de negócios da indústria transformadora e, ainda, 9% da produção da indústria transformadora [20].

Relativamente aos resultados económicos, Portugal, face à análise dos dados do primeiro trimestre de 2023, verificou uma tendência de crescimento nas exportações (2%) e uma diminuição de importações (3%), que resultou num saldo positivo de 341 milhões de euros [21]. Apesar dos resultados serem favoráveis, Portugal, tal como o resto da Europa, apresenta uma elevada dependência de matérias-primas do exterior e uma enorme falta de mão de obra qualificada, daí ser necessária uma solução [21].

### 2.1.3. Robôs Industriais

Os robôs industriais, conhecidos como robôs tradicionais, são os mais utilizados nas indústrias e são semelhantes a um braço humano. Foram projetados para substituir operadores, e por isso, trabalham sozinhos. Pretendem automatizar o processo de produção de fábricas, sem qualquer ajuda humana [22]. São articulados porque se dobram em várias direções, conseguem funcionar a altas velocidades, possuem alguma flexibilidade e alinham-se segundo coordenadas múltiplas (eixo X, Y e Z) [22].

Para ser possível o seu funcionamento, os robôs industriais precisam obrigatoriamente de um controlador de robô dedicado a operações, logo exigem uma programação elaborada e uma cinemática complexa. Isto significa que são precisos muitos estudos, relativamente ao deslocamento dos objetos no tempo e no espaço, antes da sua implementação. Além disso, estes robôs são robustos, e, por isso, ocupam muito mais espaço do que um robô colaborativo [22]. Para que um robô industrial altere o seu movimento, é necessária a intervenção de alguém com as qualificações necessárias para programar um novo código, consoante a função pretendida para o robô executar. Esta inconveniência não acontece com os robôs colaborativos [22].

Os robôs industriais são utilizados para tarefas pesadas, manuseio de materiais maiores e que não exijam grande sensibilidade como, por exemplo, corte de aço, transporte de painéis, entre outros. Precisam, obrigatoriamente, de infraestruturas de segurança para manter os colaboradores fora do seu alcance [22]. Neste sistema tradicional, colaboradores e robôs não partilham o espaço de trabalho nem se ajudam mutuamente. Por vezes, acontece de serem precisos retoques humanos nas peças que estão a ser trabalhadas pelos robôs. Nestes casos, após a finalização do processo executado pelo robô, este transfere-as para uma passadeira que as conduz para fora da vedação e, aí, o colaborador pode operar [23].

Como se observa na figura 6, apresentada a seguir, o robô está cercado por barreiras de segurança, que previnem acidentes de trabalho.



*Figura 6- Robô Industrial [23]*

Os tradicionais são utilizados para produção em massa e são mais baratos que os colaborativos, mas, ao mesmo tempo, são acompanhados de um maior consumo energético e de uma programação extremamente mais complexa. Antes de implementar qualquer tecnologia, é fundamental que as empresas avaliem cuidadosamente o retorno face ao investimento. A instalação e a manutenção dos mesmos exigem habilidades técnicas específicas, e, portanto, nem todos os colaboradores possuem competências para as realizar. Caso os robôs não estejam programados corretamente ou não cumpram com os padrões de segurança necessários, a segurança no trabalho é posta em causa. Apesar de algumas desvantagens que possam ter, estes robôs industriais continuam a ter muito que oferecer para as várias áreas da indústria [22].

#### 2.1.4. Robôs Colaborativos ou *Cobots*

Os robôs colaborativos, também designados por *cobots*, são criados para que exista interação com humanos em diferentes ambientes de trabalho. São projetados especificamente para trabalhar juntamente com os operadores, como se observa na figura 7. Estes robôs são essencialmente utilizados para ajudar pessoas e, por isso, a sua interação com os operários é fundamental. São capazes de realizar tarefas de automação, elevando, por conseguinte, a produtividade de qualquer empresa a outros níveis [22].



*Figura 7- Robô Colaborativo [24]*

Os robôs colaborativos são mais fáceis de programar e, por isso, podem realizar várias tarefas. São de rápida instalação, apresentam flexibilidade, são mais leves e bastante mais pequenos que os industriais, poupam espaço e são facilmente recolocados. Além disso, possuem uma maior precisão e sensibilidade que os robôs industriais [22]. As vantagens apresentadas permitem que estes robôs sejam utilizados para desempenhar funções de extrema relevância, por exemplo, cirurgias minimamente invasivas, reabilitação, diagnóstico de cancro da mama, entre outros [24]. Quando se descobre que já há robôs colaborativos, fabricados pela KUKA, a realizar este tipo de diagnóstico, referido anteriormente, percebe-se que não se pode, de forma alguma, encarar os avanços da tecnologia como inimigos [24].

Os colaborativos são seguros, reduzem o risco de lesões e acidentes de trabalho, e, graças aos vários sensores neles implementados, operam lado a lado com pessoas, sem ser necessário aplicar barreiras de segurança. São fabricados para trabalharem com os operadores e não para substituí-los. Além de todas estas vantagens, estes robôs permitem ainda que os operários se libertem das tarefas mais entediantes, repetitivas e perigosas, podendo também evitar exposição a gases nocivos, limalhas ou objetos cortantes [22]. Desta forma, são prevenidas possíveis lesões em operadores. Estes robôs podem repetir o mesmo movimento, o tempo que for necessário, sempre com precisão e exatidão. Isto é uma mais-valia para as empresas porque, a partir do momento em que o robô se encarrega da realização de uma tarefa, é possível a atribuição de novas tarefas, e de maior valor, aos operadores [22].

Em contrapartida, comparando-os com os robôs industriais convencionais, os robôs colaborativos possuem uma capacidade de carga menor, apresentam uma velocidade bastante mais baixa e um custo mais elevado. Ainda assim, os custos de aquisição de um robô colaborativo acabam por ter retorno num curto espaço de tempo, graças à sua eficácia em ambientes industriais [24].

A principal vantagem da robótica colaborativa é a automatização da produção. Tal como os industriais, os robôs podem trabalhar para além de um dia de trabalho. Trabalham de forma autónoma, diariamente, até 24h por dia, por isso, contribuem para o aumento da eficiência e produtividade, reduzindo assim o tempo de produção, o que é vantajoso para qualquer empresa [22]. Este tipo de robótica oferece ao mundo uma combinação quase perfeita do que robôs e humanos podem fazer concomitantemente [25]. A Universal Robots foi a primeira empresa a criar um robô colaborativo funcional, viável e vendável, e, por isso, é considerada a pioneira [22].

Atualmente ainda existem desafios durante o fabrico destes robôs, mas pretende-se, futuramente, conseguir aumentar a velocidade de locomoção para tarefas de elevada precisão e reduzir o seu consumo de energia [26].

Há cada vez mais empresas a apostar na compra de robôs colaborativos, e, nem todas elas, para trabalhar diretamente com humanos. Ou seja, há várias empresas que preferem utilizar este tipo de robôs devido à sua fácil programação e capacidade de alterar as suas tarefas. Nestes casos, os robôs são adquiridos para realizar trabalhos industriais, sem qualquer contacto com humanos, mas são colaborativos. É expectável que, nos tempos que se seguem, as receitas das empresas que fabricam este tipo de robôs, aumentem significativamente, uma vez que a sua procura está a crescer substancialmente [27].

### 2.1.5. Componentes de um Robô

Um robô é composto por vários componentes essenciais que vêm completar a sua complexidade. São estes componentes que lhes permitem a execução da ampla gama de tarefas que são capazes de realizar.

#### 2.1.5.1. Braço Mecânico

O braço mecânico, constituído por juntas e elos, é a parte do robô que se associa ao posicionamento (x, y e z) no espaço operacional. Os elos são, normalmente, blocos rígidos e estão conectados entre si através de juntas [3].

Uma das principais características de um braço industrial é a capacidade de carga que o mesmo pode manipular, sem que afete a sua precisão. Esta capacidade mede-se na posição crítica do mesmo, que é quando o braço atinge a sua máxima extensão [3].

#### 2.1.5.2. Controlador

Os controladores são designados como o cérebro do robô. São componentes que monitorizam o comportamento de cada junta, controlando todas as funções e movimentos que os robôs podem executar [3].

#### 2.1.5.3. Atuadores

Os atuadores são os componentes que fazem mover as juntas, por isso, normalmente, há um atuador em cada junta. Estes convertem a energia elétrica, hidráulica e pneumática em movimento mecânico, por isso, podem ser designados como atuadores elétricos, hidráulicos ou pneumáticos [28].

Os atuadores elétricos apresentam uma elevada velocidade, boa precisão e custos relativamente baixos, mas, no que diz respeito ao seu funcionamento, em situações estáticas não são aconselháveis, pois requerem travões [28].

Quanto aos atuadores hidráulicos, estes apresentam uma velocidade média e uma boa precisão, e, relativamente ao seu funcionamento, em situações estáticas, trabalham de forma excelente. Em contrapartida, apresentam custos bastante elevados [28].

Os atuadores pneumáticos são os que apresentam maior velocidade, têm custos relativamente baixos e são bons quando funcionam em situações estáticas. No entanto, apresentam má precisão [28].

#### 2.1.5.4. Sensores

Os sensores são importantes pois fornecem as informações ao controlador. Há sensores internos, dedicados a informar em que local se encontram as diversas juntas, e sensores externos que, geralmente, recolhem a informação adicional sobre o ambiente onde está inserido. Comportam-se como bússolas para o robô [29].

No caso dos robôs colaborativos, os sensores possuem elevada sensibilidade e, por isso, acionam uma paragem de segurança imediata ao mínimo contacto com uma pessoa [30].

#### 2.1.5.5. Tipos de juntas

As juntas são as articulações entre os corpos, ou seja, são a conexão entre os elos, e podem ser de diferentes tipos. Existem juntas prismáticas, onde o movimento dos elos é linear (movem-se em linha reta); rotativas, que giram em torno de uma linha imaginária; esféricas, que combinam três juntas de rotação em torno de três eixos distintos; cilíndricas, que são compostas por uma junta rotacional e uma prismática; de parafusos, que apresentam um movimento semelhante ao da junta prismática, mas com movimento de rotação no eixo central; e, ainda, planares, que são compostas por duas juntas prismáticas, realizando movimentos em duas direções [29].

No entanto, nos robôs industriais, prevalecem, essencialmente, dois grandes grupos, nomeadamente, as juntas prismáticas (P) e as juntas rotativas (R). Por vezes, está presente também a junta esférica. Estas são representadas seguidamente pelas alíneas a), b) e c), na figura 8.

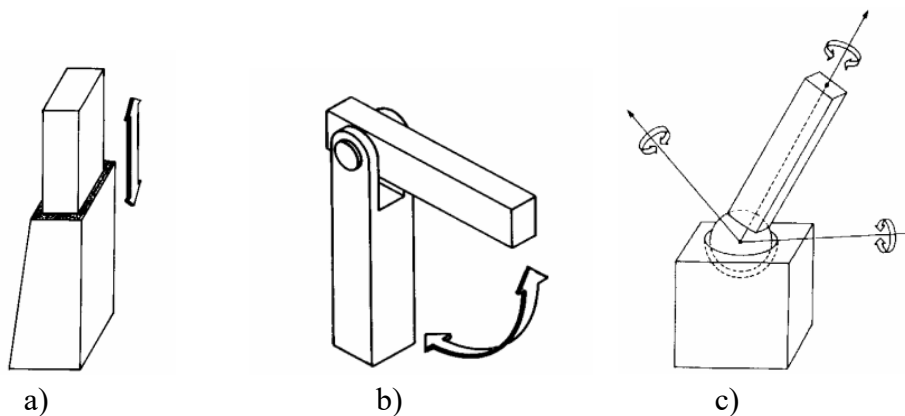


Figura 8- a) Junta Prismática, b) Junta Rotativa e c) Junta Esférica

Definem-se como juntas principais as que se encontram mais próximas da base e como juntas secundárias todas as restantes [31].

#### 3.1.5.6. Graus de Liberdade e Mobilidade

Os graus de liberdade, *degrees of freedom* (DOF) são um dos fatores mais importantes para determinar as características de qualquer robô. Estes correspondem ao número total

de movimentos independentes que um robô pode efetuar, determinam os movimentos do braço robótico no espaço bidimensional ou tridimensional e identificam, assim, a versatilidade do robô [31].

Estes estão associados ao número de juntas existentes, sendo que cada junta pode definir um ou dois graus de liberdade. Quando o movimento ocorre em apenas um eixo, considera-se que a junta possui apenas um grau de liberdade. Nos casos em que o movimento acontece em mais o que um eixo, a junta tem dois graus de liberdade [31].

Desta forma, conclui-se que o número de graus de liberdade do robô é igual à somatória no número de graus de liberdade das juntas. É ainda importante referir que quanto maior for o número de graus de liberdade existentes, mais complexa será a cinemática, a dinâmica e o controle do robô [31].

### 2.1.6. Interação Operador-Robô

Como já dito anteriormente, atualmente os robôs estão cada vez mais presentes e em contacto com os seres humanos. A existência de robôs colaborativos é, de facto, uma mais-valia, visto que o colaborador e o robô se conseguem ajudar mutuamente sem qualquer risco [32]. Além da entreaajuda, os robôs são extremamente capazes de realizar tarefas de forma autónoma e possuem sensores que permitem o seu funcionamento em ambientes variados, sem que haja colisões. Estes realizam trajetórias suaves através dos seus controladores cinemáticos e dinâmicos [32].

Atualmente, há robôs a trabalhar em ambiente industrial, lado a lado com os colaboradores da fábrica [33]. Esta interação homem-robô e a segurança que acarreta, permite que os robôs contribuam em diversas áreas, desde a produção industrial até ao setor médico, onde são precisas realizar tarefas com um grau de sensibilidade bastante elevado. A área medicinal estava bloqueada para a automação, até ao aparecimento dos robôs colaborativos [33].

Com esta entreaajuda, há tempo poupado, alívio da carga de trabalho dos operadores e, por conseguinte, um aumento significativo da qualidade e da produtividade [33].

### 2.1.7. Grippers ou Garras

Um *gripper* é um componente que se liga à extremidade do braço mecânico. É um dispositivo que permite a retenção de um objeto e que este seja manipulado. É associado a uma mão humana, visto que segura, aperta, manuseia e larga objetos. É um componente de um sistema automatizado e é conectado ao robô [34]. Para a robótica, a existência de *grippers* é essencial, assim como para os seres humanos são imprescindíveis os movimentos de agarrar ou manipular objetos. Um robô sem o auxílio de um *gripper*, pouco ou nada faz.

O primeiro *gripper* existente, observado na figura 9, facilmente controlável, surgiu em 1969, a partir de um estudante, engenheiro mecânico, Victor Scheinman, da Universidade de Stanford [35]. Após o desenvolvimento do mesmo, a sua utilização resumia-se à fabricação automotiva. Era designado de *parallel gripper*, bastante comum atualmente, e consiste em dois dedos de barra acionados para agarrar ou soltar objetos, apenas [35]. Esta foi a primeira garra facilmente controlável e, hoje em dia, ainda é extremamente utilizada devido à sua versatilidade.

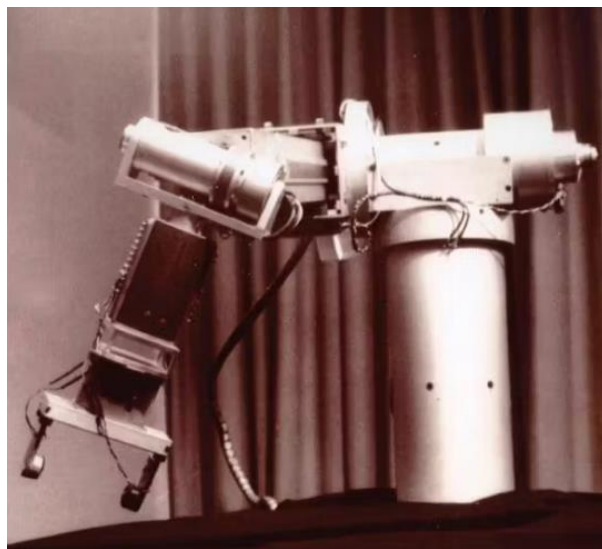


Figura 9- Primeiro Gripper Desenvolvido [35]

É importante destacar que cada processo executado ou qualquer movimento preciso, requer a utilização de um *gripper* específico [34]. A empresa ESI Robotics funciona com diversas marcas, entre as quais se podem salientar a *Zimmer*, *Onrobot*, *Schunk*, *Reiman*, *SMC* e *Universal Robots*. Cada uma destas marcas possui um enorme leque de *grippers*, com inúmeras formas e diferentes funcionalidades, capazes de atuar em diversas áreas.

Para este projeto, pensou-se utilizar um *gripper* já existente no mercado, no entanto, nenhum se adequava, devido às particularidades que os tecidos apresentam.

Caso se optasse pela utilização de um *gripper* pneumático, com sistema a vácuo, o tecido acabaria por ficar enrugado, resultado da enorme pressão a que é sujeito e, as laterais não seriam costuradas conforme desejadas. Se se optasse pela colocação do sistema de vácuo na mesa de trabalho, o transporte e manipulação das peças seria bastante mais difícil de executar.

Relativamente aos *grippers* de pinças, estes também foram imediatamente descartados, visto que a probabilidade de danificarem os tecidos não é nula e além disso, o tecido iria apresentar bastante enrugamento. É importante que o *gripper* utilizado mantenha o tecido sem qualquer degradação.

Pensa-se que os *grippers* de agulhas poderão ser uma solução, mas apenas para determinados tecidos, por exemplo, neste projeto onde apenas serão manipulados tecidos de camisa e malhas, prevê-se que o *gripper* de agulhas seja relativamente preciso e consiga um bom desempenho, no entanto, a possibilidade de degradar os tecidos é mais elevada, principalmente se se tratar de peças de cabedal. Existe um *gripper*, construído especificamente para manipulação de tecidos, denominado *tapegripper*, observado na figura 10, no entanto, volta a não ser o indicado para realizar o transporte de tecidos. O *tapegripper*, denominado como *gripper* de “fita-cola”, foi projetado para agarrar, segurar e libertar materiais instáveis, tal como o tecido. Este recolhe o tecido com fita adesiva e à chegada do local pretendido, a fita é removida meticulosamente para não deixar resíduos. A superfície de adesão é agarrada ou libertada conforme vai girando o transportador de rolos. Após libertação do tecido, a fita regenera-se [36].



Figura 10- *Tapegripper* [36]

Apesar de não ser o indicado para transporte dos moldes das *t-shirts*, acredita-se que este *gripper* seja implementado ao longo da linha de produção, mas apenas numa fase posterior à realização das costuras laterais. Como este *gripper* é capaz de separar as camadas de tecido, espera-se que, quando as laterais das *t-shirts* estejam cosidas, este seja o mecanismo ideal que colocará a peça na máquina seguinte, nomeadamente, a que realiza as costuras tubulares (bainhas) [36].

### 2.1.7.1. Normas Internacionais

Para uma melhor utilização dos *grippers* foram introduzidas normas internacionais de segurança. Há determinados requisitos que são necessários cumprir, para que os *grippers* possam ser utilizados [22].

A ISO, *the International Organization for Standardization*, é uma federação mundial de organismos de padronização, que inclui uma norma internacional, designada de ISO 9409-1, exibida na figura 11. Esta trata da manipulação de robôs industriais e define a designação, as dimensões e a marcação de placas circulares utilizadas como interface mecânica [37]. Segundo a definição apresentada pela ISO, um robô é um manipulador multiuso, controlado e reprogramável [38].

A ISO 9409-1 foi elaborada para garantir permutabilidade/intercambialidade e manter a orientação das ferramentas montadas manualmente [37]. A designação da interface mecânica deve ser a seguinte:

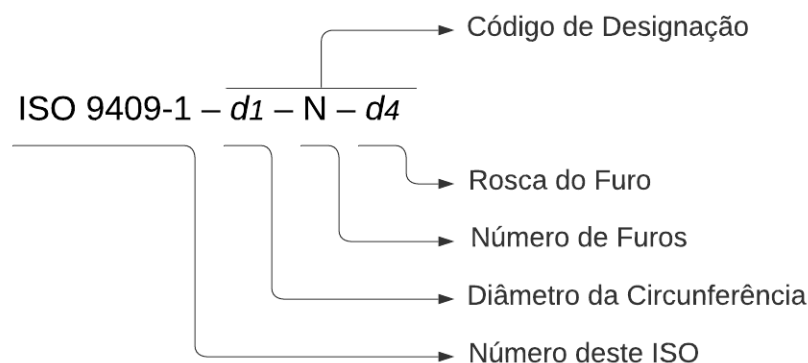


Figura 11- Normas Internacionais das Interfaces Mecânicas [37]

Por exemplo, uma interface mecânica que tenha 150 mm de diâmetro e 6 furos M10, deve ser designada como ISO 9409-1 – 150 – 6 – M10. Assim, a interface do robô é lida universalmente [37].

### 2.1.8. Futuro da Robótica

Conforme se vai presenciando, a robótica tende a estar cada vez mais presente em todos os setores. Já realiza funções que, até há pouco tempo, eram desempenhadas por humanos e tem provocado um impacto notável e positivo [39].

É então de esperar que estes avanços não fiquem estagnados. Com a constante evolução da automação e com a recente e conhecida inteligência artificial, prevê-se que num futuro próximo, a robótica faça parte do quotidiano de cada um, com robôs mais complexos, capazes de interagir de forma mais natural com seres humanos [39].

Quem convive, trabalha e investe em robôs, acredita convictamente num futuro promissor. A verdade é que a robótica trouxe benefícios ao ser humano, principalmente para quem trabalha em indústrias. Para a maior parte da população, é inimaginável que a robótica traga vantagens, no entanto, a verdade é que através dela, os operadores podem ser poupados de tarefas desgastantes. É importante que se saiba aproveitar o potencial dos robôs para que possa existir um amanhã ainda mais brilhante [39].

## 2.2. Automação

Recuando na história constata-se que as primeiras tentativas de automatização de processos surgem na pré-história com moinhos movidos a vento, por exemplo. Nesta altura o foco principal já era evitar o esforço físico do Homem. Ainda que esta tenha começado na pré-história, o principal marco da automação ocorreu apenas quando surgiu um mecanismo capaz de regular a pressão das caldeiras das máquinas a vapor de forma automática. Este acontecimento foi desenvolvido por James Watt, após a Revolução Industrial [40].

A automação consiste em realizar processos, com pouca ou nenhuma intervenção humana, através de sistemas mecânicos, elétricos, eletrónicos e de computação, sempre de forma rápida e precisa. A automação é implementada com o intuito de melhorar a

qualidade dos produtos e aumentar a eficiência do fabrico dos mesmos. Isto resulta num aumento da velocidade de produção, numa diminuição dos custos operacionais, e numa redução de erros ao longo do processo. Na automação trabalha-se para a eliminação de desperdícios e, por isso, procura-se que a máquina seja capaz de parar a produção caso haja possibilidade de serem produzidos defeitos. Os seus objetivos principais são, nomeadamente, evitar produção desnecessária e impedir, no exato momento, o fabrico de produtos defeituosos [40].

Atualmente, a automação predomina em alguns processos como linhas de montagem automotiva, robôs, integração de motores (linhas *transfer* – altamente automatizadas), máquinas do tipo CNC e é essencialmente aplicada em processos considerados repetitivos [40]. A automação industrial pode ainda dividir-se em 3 grupos distintos, nomeadamente, automação fixa, flexível e programável [40].

### 2.2.1. Automação Fixa

A automação fixa utiliza máquinas específicas para um determinado produto ser produzido. Há casos em que são produzidos mais do que um produto, mas isso apenas acontecesse se as variações entre eles forem mínimas [41].

Uma vez que as máquinas são projetadas para a produção de um produto específico, estas são extremamente dispendiosas. Numa fase prévia ao seu investimento, é fundamental certificar-se de que as vendas do produto serão elevadas, caso contrário, o investimento da aquisição da máquina não será amortizado. Como neste tipo de automação o volume de produção é elevado, o tempo de retorno do investimento é reduzido. Esta é empregue, por exemplo, em linhas *transfer* de motores e fabricação de garrafas [41].

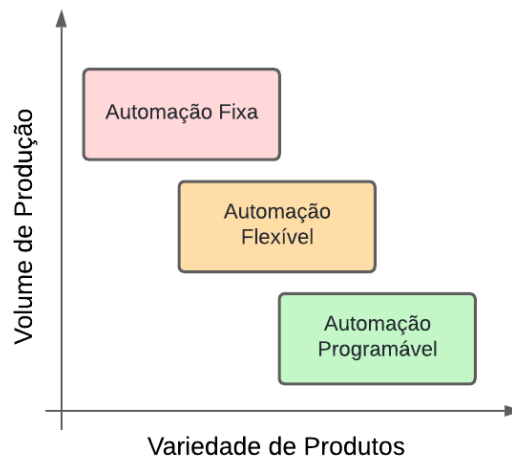
### 2.2.2. Automação Flexível

Relativamente à automação flexível, o volume de produção é médio e, neste caso, a máquina pode voltar a ser programada para produzir um novo produto. Esta automação pode ser encontrada em linhas de montagem automotiva, por exemplo. Neste caso

apresentado, são realizados vários modelos de peças para a mesma linha de produção [41].

### 2.2.3. Automação Programável

Neste tipo de automação, o volume de produção é baixo, mas a variedade de produtos produzidos é altíssima. É adaptada, conforme necessário, através de programação. A automação programável predomina essencialmente em máquinas CNC e nos robôs industriais. O gráfico que se segue na figura 12, estabelece a relação entre o volume de produção e a variedade de produtos para os diferentes tipos de automação, referidos anteriormente [41].



*Figura 12- Gráfico que Relaciona o Volume de Produção com a Variedade dos Produtos, nos Diferentes Tipos de Automação*

## 2.3. Aplicações Informáticas de Suporte à Digitalização

Atualmente, qualquer uma das aplicações informáticas de suporte à digitalização desempenham um papel essencial, especialmente na área da engenharia. Estas ferramentas permitem automatizar, editar e simular projetos, o que melhora consecutivamente a qualidade dos produtos pretendidos [42]. Ao longo do período de aprendizagem na Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Bragança, foram adquiridas várias competências, maioritariamente no *software* SolidWorks, no que diz respeito ao desenho peças e simulação de conjuntos. No entanto, durante o estágio foi necessário

utilizar um programa diferente, nomeadamente o *Autodesk Inventor*, mas ainda assim, bastante semelhante.

Como referido anteriormente, para a concretização deste projeto foi utilizado o *software Autodesk Inventor*, onde se simulou a posição de cada um dos componentes necessários no transporte e na manipulação dos tecidos escolhidos. Esta simulação foi executada com o fim de proporcionar uma melhor perceção do espaço de trabalho disponível.

### 2.3.1. Autodesk Inventor

O *Autodesk Inventor* é um *software* de modelação CAD 3D que disponibiliza as ferramentas necessárias para a concretização de projetos de mecânica e para a sua simulação. Permite escolher os materiais que constituem as peças a realizar, possibilita a utilização de chapa metálica, armações, tubagens e canalizações, em todos os *designs* executados [42].

Os desenhos criados para fabrico são detalhados, precisos e claros. Caso seja necessário realizar alguma simulação, é possível fazê-lo, de forma rápida, nos modelos 3D. Podem-se aplicar tolerâncias de flexão, forças e tensões para avaliar o movimento, velocidade ou aceleração que o projeto poderá sofrer [43]. Este *software* permite ainda calcular o peso das estruturas, o que é vantajoso para analisar a resistência, a estabilidade e o desempenho das mesmas em condições reais. Desta forma, prevê-se possíveis falhas antes da sua fabricação [43].

# Capítulo III

## 3. Manipulação e Transporte de Tecidos e Malhas

Para que este processo fosse alvo de automatização da empresa ESI Robotics, foi necessário analisar a situação atual do mercado têxtil e todos os passos envolvidos na linha de produção, bem como os entraves que poderiam surgir.

### 3.1. Caracterização do Projeto

Este projeto vem desenvolver uma solução para uma das tarefas com maior interesse em automatizar, no setor têxtil. Atualmente, todo o processo de manipulação de tecidos de uma mesa de corte e cose, envolve operadores humanos. Esta tarefa é um exemplo de um trabalho repetitivo, sem grande valor, que não carece de tomada de decisões, e é, portanto, adequada para ser alvo de automatização. Durante o estudo de todo este processo, pensou-se, de imediato, em reduzir o maior número de postos de trabalho necessários, para atenuar o impacto que a falta de mão de obra tem gerado.

É importante ressaltar que a automação de manipulação de tecidos representa um enorme desafio devido à maleabilidade existente nos mesmos. Caso esta implementação seja bem-sucedida, a solução final não só trará uma maior eficiência operacional, uma poupança significativa de recursos e um aumento de produtividade, como também representará um marco na história da indústria têxtil.

O projeto consiste em manipular uma peça entre as diferentes etapas de costura. Para isso, foca-se na realização de um *gripper* capaz de transportar os moldes de uma *t-shirt* (frente e costas), para uma máquina de costura corte e cose. O início do processo será feito pelo operador, onde a sua função é assegurar a colocação de duas peças (umas costas e uma frente), na mesa de trabalho, perfeitamente empilhadas e alinhadas. De seguida, é realizado o transporte das duas peças, pelo robô, até à máquina de corte e cose, onde são realizadas as costuras laterais e é cortado o tecido excedente. Como as *t-shirts* produzidas

nas fábricas de confecção não são de tamanho universal, pretende-se que o *gripper* desenvolvido seja de troca rápida. Ou seja, espera-se desenvolver um modelo capaz de transportar peças de tamanho S e, em poucos segundos, ser capaz de transportar peças de tamanho L, por exemplo. Para o problema endereçado, espera-se que a solução pensada seja funcional e que consiga diminuir, ou, eventualmente, prescindir, a intervenção humana.

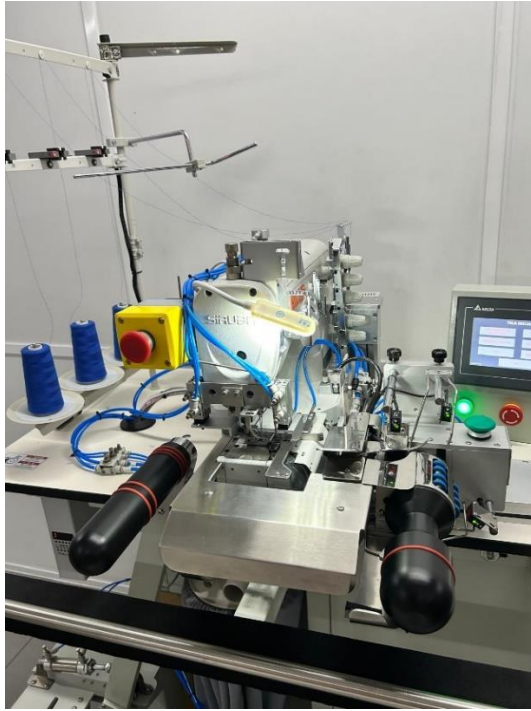
O objetivo final deste projeto é conseguir a criação de um protótipo totalmente funcional, capaz de processar, em tempo real, informações técnicas dimensionais, provenientes de uma mesa de corte e cose. Estas informações técnicas serão convertidas em coordenadas que, posteriormente, serão transmitidas para a unidade central de processamento do robô. Graças a este projeto, este processo, considerado repetitivo e de baixa relevância, pode passar a ser realizado de forma automática ou semiautomática.



Figura 13- Parte da Linha de Produção Automatizada no Presente Projeto

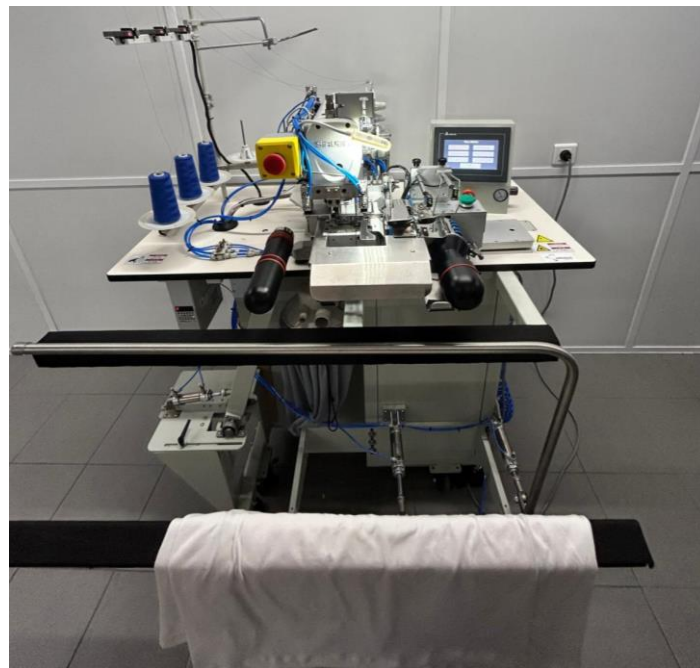
Embora, neste projeto, não tenha sido implementada a sua execução, estudou-se a possível continuação desta linha de produção de *t-shirts*.

Após esta etapa inicial, espera-se que, finalizados os dois lados da *t-shirt*, haja um mecanismo capaz de executar a “viragem” da mesma, uma vez que as costuras laterais são sempre realizadas com a *t-shirt* do avesso. Neste ponto de situação, existirá um outro robô, que estará encarregue de assegurar o correto posicionamento da peça na máquina de costuras tubulares, que realizará a bainha. A realização desta costura tubular já é realizada de forma automática, mas além de implicar a “viragem” da *t-shirt*, carece ainda que haja a abertura da mesma, pois só assim é garantida a correta colocação na máquina. A máquina que realiza estas costuras está representada na figura 14, e é designada de Siruba [44].



*Figura 14- Siruba*

A *t-shirt* é aberta e colocada nos cilindros pretos. A Siruba realiza as bainhas de forma automática e está também responsável por retirar a peça do espaço de trabalho, como se vê na figura 15.



*Figura 15- Peça Retirada do Espaço de Trabalho pela Siruba*

Como se pode confirmar, a parte de realização de costuras tubulares está completamente automatizada. Antes de dar início ao projeto, o foco inicial era desenvolver o processo completo até à peça chegar à Siruba. Assim, com a automatização dos restantes passos, pretende-se construir uma linha de produção funcional onde os operadores apenas poderão ser necessários para realizar retoques finais ou detalhes que a peça careça.



Figura 16- Idealização da Automatização Completa da Linha de Produção de T-Shirts

### 3.2.1. Principais Desafios

Como seria de esperar, a manipulação de tecidos é bastante complexa devido às características naturais e mecânicas dos tecidos. Além disso, a variedade de materiais existentes dificulta a existência de um sistema universal. Os tecidos possuem diversos entraves que precisam de ser estudados para que possam ser ultrapassados, tais como, as suas propriedades, irregularidades e dimensões.

Relativamente às propriedades físicas e químicas, estas são variáveis, de tecidos para tecidos, e, por isso, carregam consigo uma necessidade enorme de adaptabilidade do *gripper* que será utilizado. Contrariamente aos corpos rígidos, os tecidos são, geralmente, flexíveis, maleáveis e porosos. Desta forma, obter uma “pega” segura e consistente para o robô, foi um enorme desafio.

Quanto às irregularidades dos tecidos, estas estão presentes sobretudo em superfícies e zonas de corte, quando o corte não ocorre perfeitamente.

Em relação às dimensões dos tecidos, estas podem ter formas irregulares, dobras ou geometrias complexas. Mas, os robôs carecem de dimensões precisas e pontos de contacto pré-definidos para efetuar uma “pega” precisa dos mesmos. Para isso, é importante garantir que o *gripper* desenvolvido durante o processo seja adaptável e capaz de manipular todo o tipo de peças, independentemente das dimensões da mesma.

Tendo em conta todas estas propriedades, ao transportar o tecido para a máquina de corte e cose, é necessário certificar-se que o mesmo não vai alterar a sua forma antes de chegar ao seu destino. Como não se sabe o atrito que vai existir quando a peça estiver em contacto com a superfície de manipulação, será necessário que o *gripper* responsável pelo transporte aplique uma enorme pressão durante o movimento de manipular a peça para a etapa seguinte, evitando ao máximo a deformação do tecido. Este movimento é crucial para o sucesso de toda a operação.

Para que este projeto consiga fluir devidamente, é necessário que os objetivos estejam bem definidos e que haja soluções para os desafios que vão surgindo.

### 3.2. Robô Utilizado

Quando a linha de produção que pretendemos automatizar estiver implementada na indústria têxtil, será utilizado um robô industrial, para se obter uma produção em massa e para que o tempo de ciclo do processo de corte e cose de uma *t-shirt* seja executado em poucos segundos. No entanto, para dar início aos testes experimentais, foi utilizado um robô colaborativo da marca FANUC, observado na figura 17, com capacidade de carga máxima de 20kg (vinte quilos), no pulso. Sabendo a capacidade do robô, é importante que o *gripper* desenvolvido não a ultrapasse, caso contrário a sobrecarga do robô pode causar perda de vida útil do mesmo. O valor padrão da velocidade dos robôs colaborativos é de 250mm/s (duzentos e cinquenta milímetros por segundo).

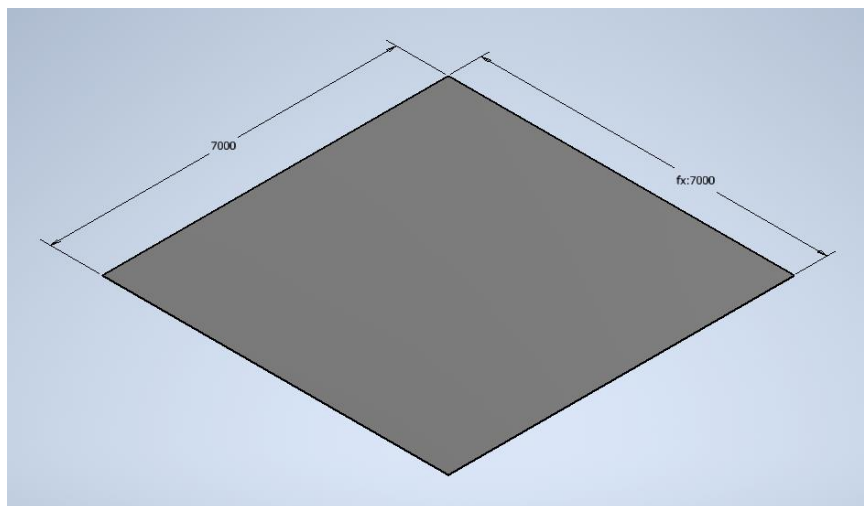


Figura 17- Robô Colaborativo CRX-20iA/L – FANUC [29]

### 3.3. Simulação do Espaço de Trabalho

Para que a locomoção dos tecidos seja realizada de forma eficaz, sabe-se que no espaço de trabalho existirá, indubitavelmente, uma mesa de trabalho, com dimensões suficientes para manipular as peças; um robô, que fará a manipulação das mesmas; uma máquina de costura, onde ocorrerá o processo de corte e cose das costuras laterais; e dois moldes da *t-shirt*, uma frente e umas costas, que sofrerão transporte e manipulação. Feito este inventário, e tendo em conta o alcance do robô utilizado, simulou-se um espaço de trabalho, no *Autodesk Inventor*, onde os componentes foram organizados da melhor forma possível, para que a manipulação acontecesse com sucesso.

A simulação referida, é iniciada com o desenvolvimento de um chão de fábrica, representado na figura 18, onde nele serão inseridos os restantes elementos da linha de produção.

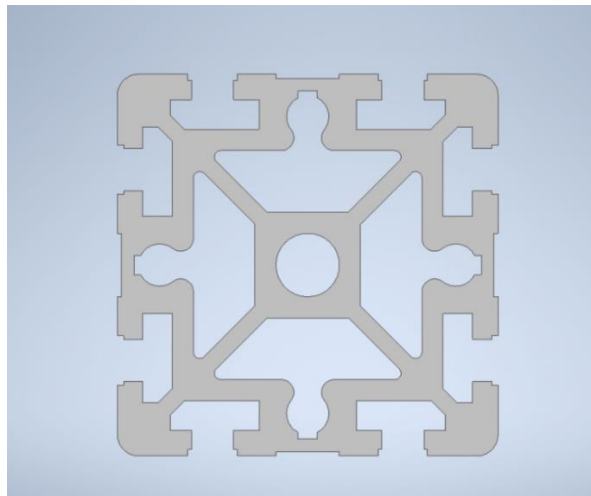


*Figura 18- Simulação do Chão de Fábrica*

O chão de fábrica foi desenhado com uma largura e um comprimento de exatamente 7m (sete metros), e uma altura de apenas 10mm (dez milímetros). Foi escolhida uma cor escura para fazer sobressair os objetos que serão anexados posteriormente.

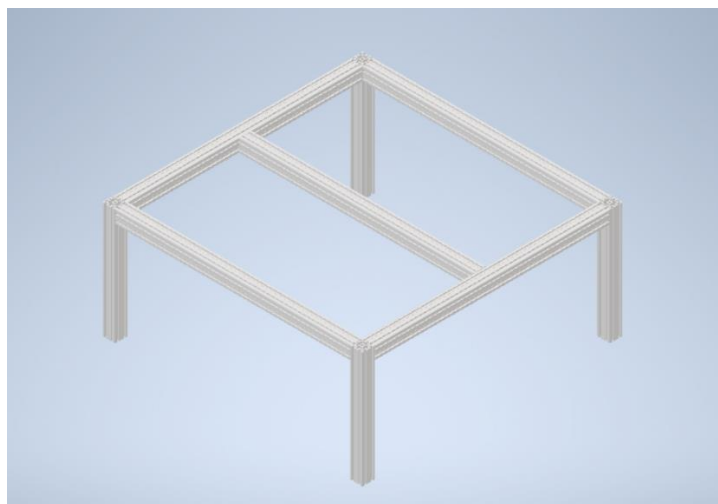
Após a realização do chão, seguiu-se para a execução de uma mesa de trabalho, observada posteriormente na figura 20, onde as dimensões são aproximadamente duas vezes o tamanho dos moldes, tanto no comprimento como na largura, com margem adequada para inserir a máquina de costura. É fundamental que a *t-shirt* ao ser manipulada, consiga coser ambas as laterais sem risco de cair. Para simulação da estrutura

da mesa, foi utilizado um perfil de liga de alumínio 90x90, com rasgo de 10, representado na figura 19, adquirido a partir do *site* da Norelem, empresa que fornece um banco de dados CAD inigualável [45].



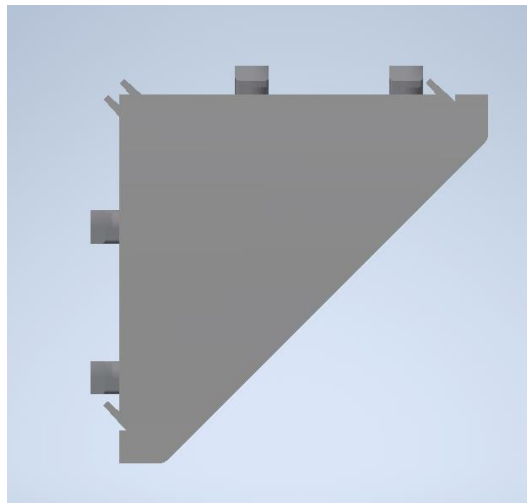
*Figura 19- Perfil Utilizado no Desenvolvimento da Mesa*

Após obtenção do CAD do perfil de liga de alumínio, seguiu-se a extrusão de 1620mm (mil seiscentos e vinte milímetros) para comprimento e largura da mesa, e uma extrusão de 800mm (oitocentos milímetros) para altura da mesma. Feitas as peças necessárias, esboçou-se a estrutura pretendida, representada seguidamente na figura 20. É importante ressaltar que o perfil de alumínio colocado no centro da mesa servirá para dar alguma estabilidade à tampa que lhe estará sobreposta e para suportar a máquina de costura.



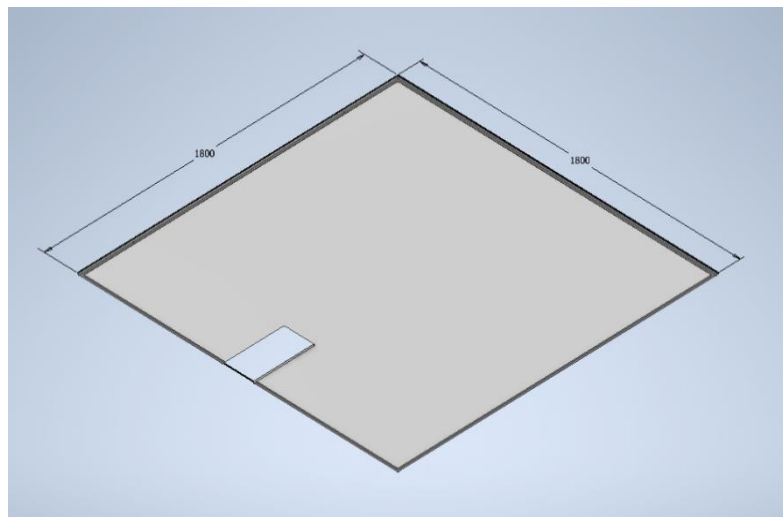
*Figura 20- Estrutura da Mesa de Trabalho*

Para fixar a estrutura, foram utilizadas cantoneiras, notáveis na figura 21, de acordo com o perfil e o rasgo utilizado, obtidas novamente a partir do banco de dados da Norelem [45].



*Figura 21- Cantoneira Utilizada para Fixação da Estrutura da Mesa*

Realizada a estrutura da mesa, prosseguiu-se ao desenvolvimento da tampa referida anteriormente, onde decorrerá todo o processo de corte e cose.

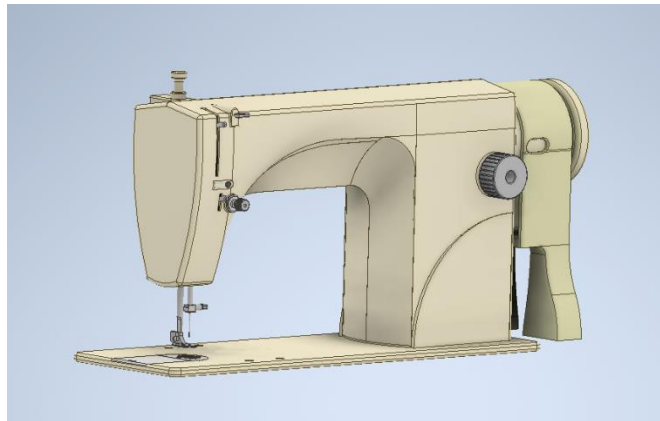


*Figura 22- Tampa da Mesa de Trabalho*

Como se observa acima na figura 22, a tampa possui um comprimento e uma largura de 1,80m (um metro e oitenta), seguida de uma extrusão de 10mm (dez milímetros). Acrescentou-se ainda umas bordas ao longo das laterais da mesma que acrescentam uma

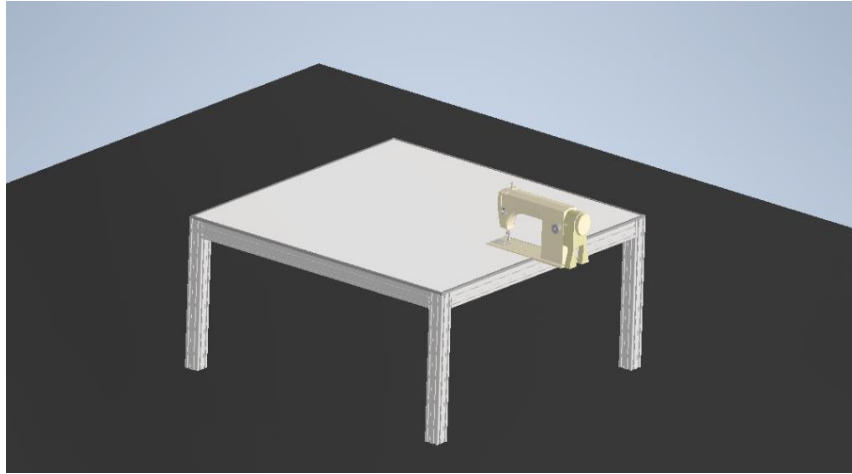
altura de 2mm (dois milímetros) à tampa da mesa. Além disso, a tampa da mesa de trabalho apresenta um corte, centrado, com 350mm (trezentos e cinquenta milímetros) de comprimento por 177mm (cento e sessenta e sete milímetros) de largura, destinado à máquina de costura e desenhado de acordo com as dimensões da mesma.

Relativamente à máquina de costura, não foi desenvolvida nenhuma simulação da mesma, visto que havia possibilidade de utilizar um modelo CAD já existente na livreria do GrabCad [46].



*Figura 23- Máquina de Costura Utilizada para Simulação do Espaço de Trabalho*

Posto isto, seguiu-se a assemblagem da mesa, onde os perfis foram interligados através das cantoneiras da figura 21, e a tampa da figura 22 foi colocada perfeitamente alinhada com a estrutura de alumínio construída. A máquina de costura da figura 23, foi inserida no espaço que lhe foi destinado e o conjunto formado foi anexado ao chão de fábrica.



*Figura 24- Mesa de Trabalho Concluída com Máquina de Costura Anexada*

É importante referir que todas as estruturas foram desenvolvidas para que a superfície onde é realizado processo de corte e cose, ficasse perfeitamente nivelada, como se observa na figura 24. Deste modo, não existirão irregularidades na manipulação.

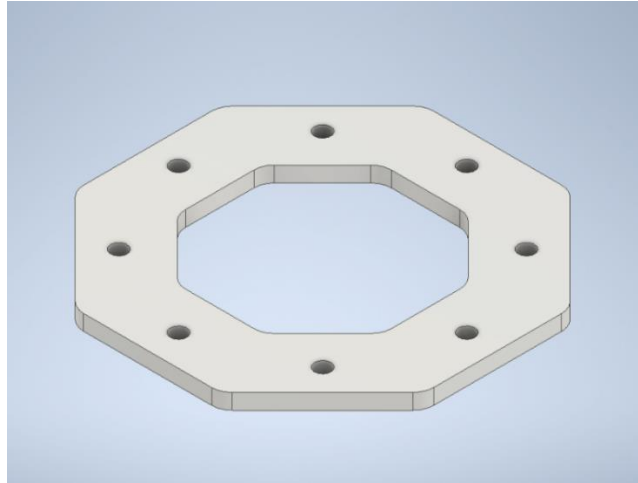
Seguidamente, adquiriu-se o modelo CAD pré-existente do robô que será utilizado nos testes experimentais. O robô em questão, observado seguidamente na figura 25, é colaborativo, da marca FANUC e tem capacidade máxima de 20kg, como referido anteriormente.



*Figura 25- Robô colaborativo Utilizado nos Testes Experimentais*

Para uma possível colocação do robô no espaço de trabalho, é necessário, primeiramente, o desenvolvimento de um pedestal que o consiga suportar. Realizou-se

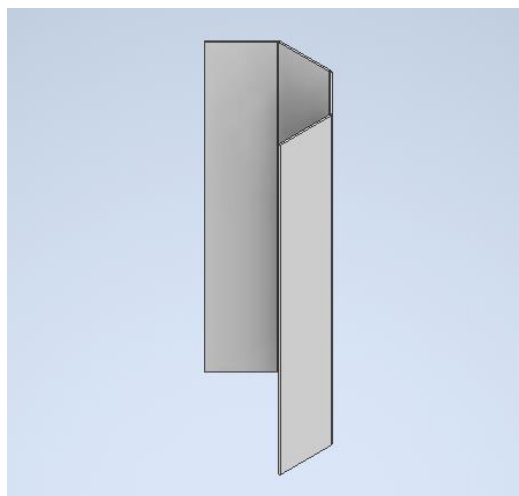
então uma estrutura com altura suficiente para o robô exercer os seus movimentos. Esta estrutura desenvolvida é composta por uma base, uma estrutura que lhe proporcionará a altura, e uma tampa onde será implementado o robô.



*Figura 26- Base do Pedestal*

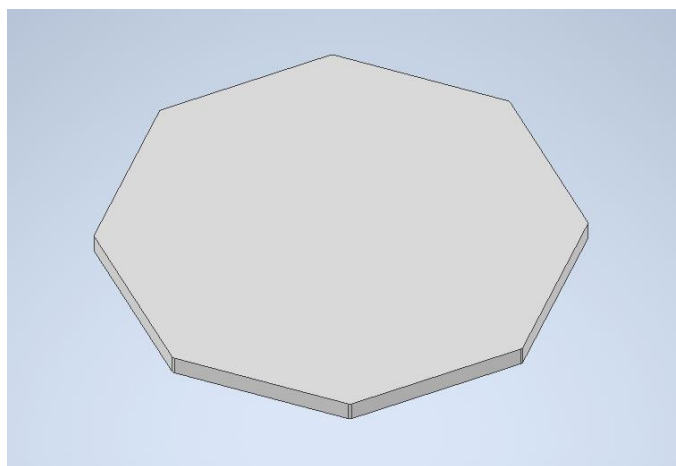
Esta base desenvolvida, apresentada na figura 26, é um polígono de 8 (oito) lados, em chapa, onde cada lado tem uma largura de 70mm (setenta milímetros) e uma extrusão de 15mm (quinze milímetros). A estrutura completa conta com um diâmetro externo de 340mm (trezentos e quarenta milímetros) e um diâmetro interno de 200mm (duzentos milímetros). Foram ainda realizadas 8 (oito) furações com 16mm (dezassex milímetros) de diâmetro cada, para, posteriormente, afixar a estrutura ao chão de fábrica.

Após desenvolvimento da base, seguiu-se para o desenho de uma estrutura que fornecesse altura ao pedestal, retratada na figura 27.



*Figura 27- Estrutura que dá Altura Necessária ao Pedestal*

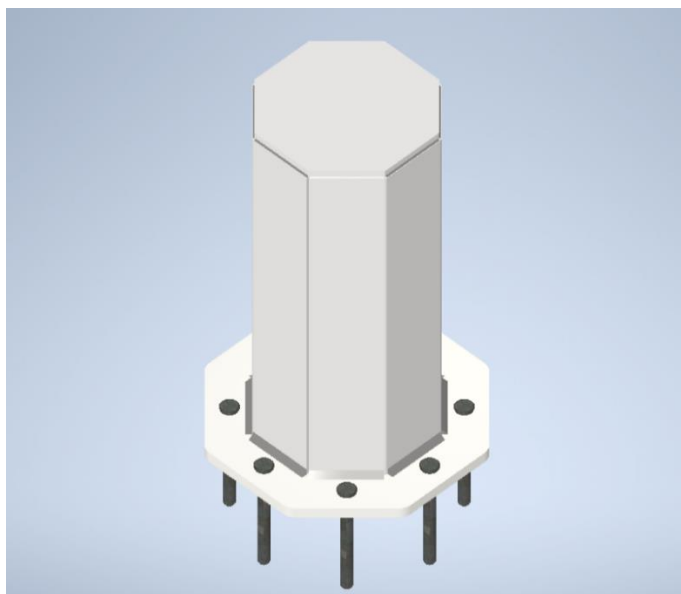
Para a altura do pedestal, são utilizadas duas estruturas da figura 27, soldadas uma à outra, em apenas um dos lados. No lado oposto é deixada uma margem reduzida para permitir a passagem de cabos. A estrutura desenvolvida tem 4 lados onde cada lado possui 90mm (novecentos milímetros) de largura e 500mm (quinhentos milímetros) de altura, com espessura de 3mm (três milímetros). Estas estruturas serão soldadas à base anteriormente desenvolvida. Com o pedestal quase concluído, falta apenas realizar a tampa, que estará sobreposta e soldada à estrutura da figura 27.



*Figura 28- Topo do Pedestal*

O topo do pedestal foi desenhado conforme as estruturas anteriores, e por isso, possui 220mm (duzentos e vinte milímetros) de diâmetro externo, acompanhado de uma extrusão de 10mm (dez milímetros).

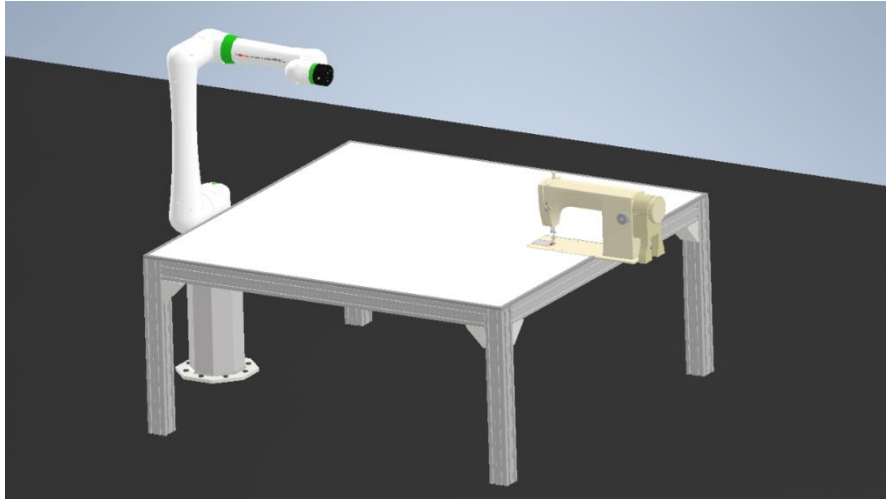
Após realizadas as peças necessárias, seguiu-se à montagem do mesmo, com inserção dos cordões de soldadura entre a tampa do pedestal e as estruturas laterais, e entre as estruturas laterais e a base. Foram inseridos varões roscados M16 com 200mm (duzentos milímetros) de comprimento, observados na figura 29, para obter profundidade necessária para fixar o pedestal.



*Figura 29- Pedestal Montado com Varões Roscados e Cordões de Soldadura*

Antes de qualquer posicionamento do robô e do pedestal no espaço de trabalho, foi necessário estudar o seu alcance. Assim, percebeu-se que o local ideal seria do lado oposto da máquina de costura pois só assim o robô teria alcance suficiente para a manipulação dos moldes. Caso o robô fosse posicionado do lado da máquina de costura, o risco de haver embate entre ambos seria bastante elevado, e, caso fosse colocado numa das restantes extremidades, o mesmo não teria alcance necessário para percorrer a área de trabalho completa, tornando impossível a realização das costuras pretendidas.

Assim sendo, colocou-se o pedestal do lado oposto à máquina de costura, perfeitamente centrado na mesa de trabalho e o robô foi-lhe sobreposto. Este posicionamento está representado na figura 30.



*Figura 30- Inclusão do Pedestal e do Robô ao Espaço de Trabalho*

Para conclusão desta simulação espacial, foram desenhadas as *t-shirts* dos tamanhos S, M e L, com dimensões fornecidas pelo CITEVE, Centro Tecnológico Têxtil e de Vestuário, apresentadas na tabela que se segue [47].

*Tabela 1- Dimensões das T-shirts para Tamanhos S, M e L*

<b>Tamanho (mm)</b>	<b>S</b>	<b>M</b>	<b>L</b>
<b>Busto</b>	476	498	520
<b>Cintura</b>	455	477	502
<b>Anca</b>	473	495	520
<b>Comprimento</b>	660	662	672

Para possibilitar uma visualização clara de como o processo de poderá decorrer, colocou-se sobre a mesa de trabalho, os moldes (costas e frente), das figuras 31 e 32, referentes ao tamanho M.

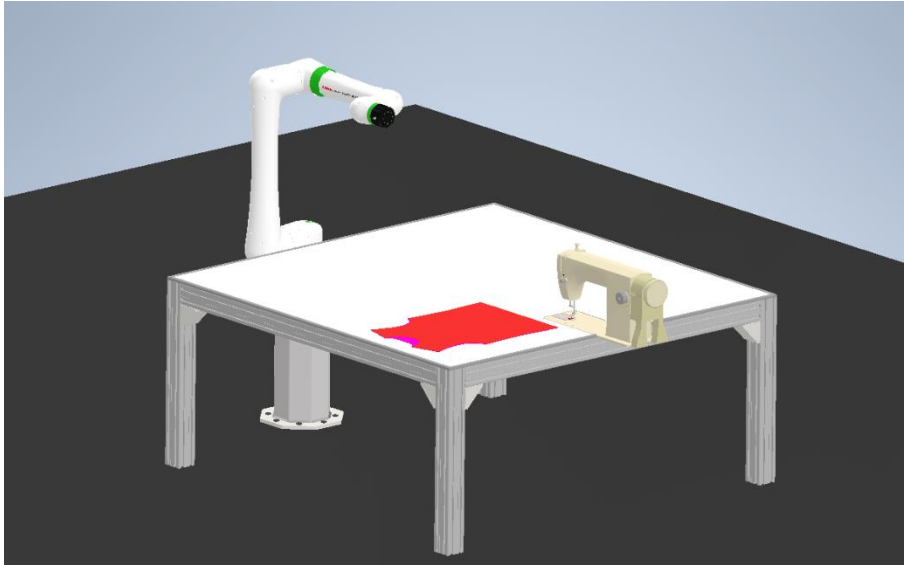


*Figura 31- Frente da T-Shirt*



*Figura 32- Costas da T-Shirt*

Estes moldes foram sobrepostos e colocados no local que aparentava ser o mais adequado para a realização do seu transporte até à máquina de costura, conforme visível na figura 33.



*Figura 33- Simulação do Espaço de Trabalho Concluída*

Após o posicionamento espacial dos dispositivos necessários, foi fundamental pensar em métodos que poderiam ser utilizados na manipulação dos tecidos. Esta simulação foi bastante relevante para se obter uma idealização do *gripper* necessário.

Percebeu-se então que o *gripper* a construir deverá apenas firmar e arrastar os tecidos ao longo do comprimento da mesa, pois, assim, não haverá enrugamento nem dificuldade de manuseio dos mesmos.

# Capítulo IV

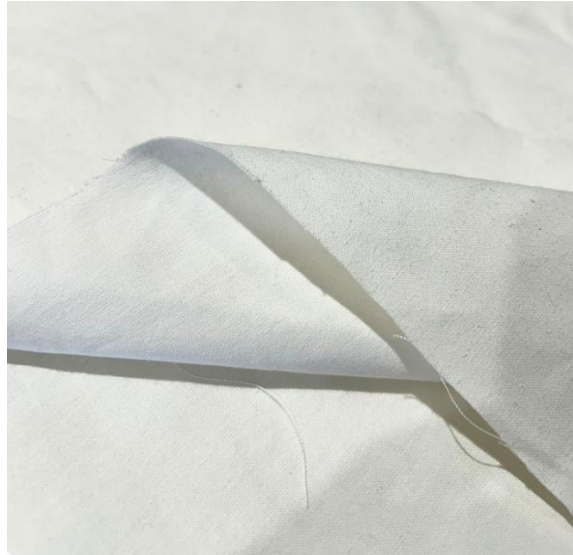
## 4. Testes Experimentais e Discussão de Resultados

### 4.1. Testes Realizados Manualmente

Quando se deu início aos testes experimentais, utilizou-se dois tipos de tecidos diferentes, nomeadamente, uma malha, figura 34, extremamente difícil de manipular devido à sua elevada maleabilidade, e um tecido de camisa, figura 35, que comparado à malha, apresenta muito pouca deformação.



*Figura 34- Malha Utilizada nos Testes Experimentais*



*Figura 35- Tecido de Camisa Utilizado nos Testes Experimentais*

A partir das imagens apresentadas, acima, nas figuras 34 e 35, é possível notar distintamente que a textura do tecido da figura 34, é muito mais maleável que o da figura 35 e, por isso, será mais difícil de manipular sem que haja qualquer enrugamento.

Foram utilizados dois moldes de uma *t-shirt*, nomeadamente, uma frente e umas costas, alíneas a) e b) da figura 36, que nesta fase inicial eram empilhados e alinhados manualmente.



a)

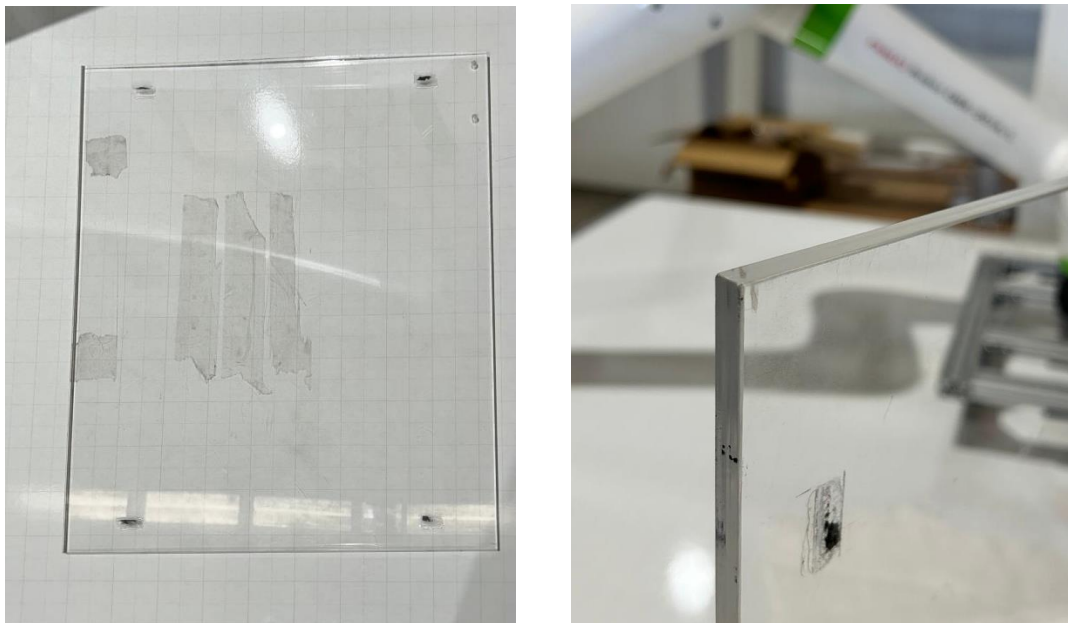


b)

*Figura 36- Frente e Costas das T-shirts, representadas pelas letras a) e b), respetivamente*

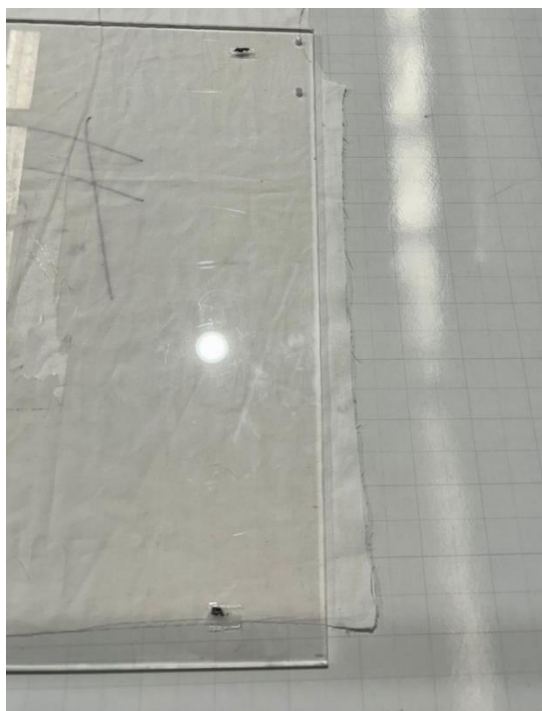
Para realizar o transporte das peças até à máquina de costura, foram utilizados dois “grippers”, figuras 37 e 39, improvisados, muito simplificados, feitos com simples placas de policarbonato, uma grande e uma mais pequena, apenas para estudar viabilidade desta solução. Simulou-se, manualmente, o percurso que o robô iria percorrer para perceber se seria possível manipular os moldes sem que estes se desalinhassem durante o trajeto a percorrer. Os diferentes tecidos foram escolhidos especificamente para notar a diferença que existirá na realização das suas costuras, e os moldes utilizados serviram para simular a diferença que existirá em costurar *t-shirts* de tamanho S e L, por exemplo.

A máquina de costura foi manuseada normalmente, através do pedal.



*Figura 37- Primeira Placa de Policarbonato Utilizada*

A placa de policarbonato era colocada sobre o tecido a ser manipulado, deixando apenas uma pequena margem onde seria feita a costura, como se constata na figura 38. Quanto menor for a margem de tecido fora da placa, menor é probabilidade de deformação do mesmo.

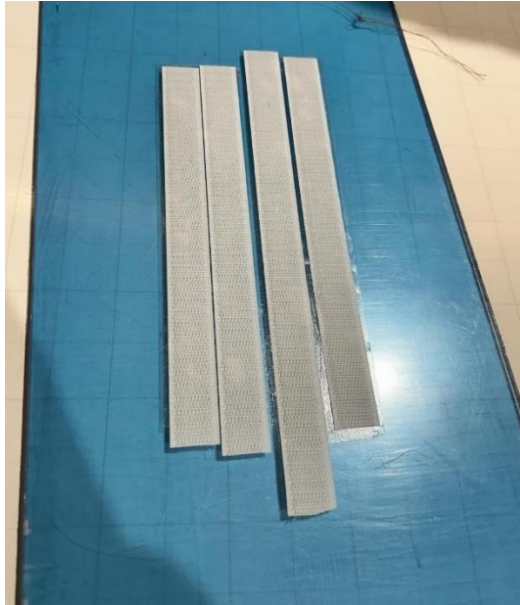


*Figura 38- Margem de Tecido Deixada para Realização das Costuras Laterais*

À medida que se foi testando, houve entraves que foram surgindo. No processo de realização das costuras laterais, há necessidade de corte da linha quando a primeira costura está terminada, para passar de uma lateral para a outra. Na máquina adquirida pela empresa, este passo era realizado manualmente, mas, como já existem máquinas de corte automático, o problema considerou-se resolvido. Observou-se também que, para a manipulação de malhas, é necessário aplicar uma pressão bastante maior, para que a peça não sofra qualquer deformação.

Foi utilizada outra placa de policarbonato, visível na figura 39, porque o tecido apresentava dimensões demasiado pequenas, e por isso era impossível manobrá-lo com a primeira placa de policarbonato apresentada, da figura 37.

Como o atrito existente entre a malha (figura 34) e o “*gripper*” era quase inexistente, experimentou-se colocar tiras de velcro, com o objetivo de aumentar a aderência e tornar o processo mais fácil.



*Figura 39- Segunda Placa Utilizada com Adição de Tiras de Velcro*

Desta forma, foi possível a realização das costuras laterais de uma forma muito mais eficaz, e, assim, percebeu-se que, no *gripper* final, será necessária a criação de pontos de atrito para que as peças, independentemente do tecido, sejam manipuladas com sucesso. Apesar dos obstáculos surgidos na manipulação das malhas, foi exequível coser as *t-shirts*, o que significa que esta etapa pode ser alvo de automatização.

Notou-se ainda que a velocidade de avanço da peça para realização do processo de corte e cose, deve ser igual à velocidade em que a máquina de costura opera. Em tecidos com maior deformação, percebeu-se que a velocidade de corte e cose deve ser menor, porque, caso contrário, o tecido fica enrugado e a lateral mal cosida. É preciso ter bastante atenção a este desequilíbrio de velocidades e ajustá-las conforme a textura do tecido utilizado.



*Figura 40- Primeiras T-shirts Costuradas Com Manipulação Manual da Placa de Policarbonato*

Geralmente, as laterais são realizadas com uma ligeira curvatura, no entanto, nos primeiros ensaios para testes do *gripper*, estas foram costuradas de forma retilínea. Ainda que estes testes tenham sido realizados manualmente e com pouca precisão, os resultados obtidos foram bastante satisfatórios, o que nos leva a crer que este projeto terá sucesso.

Com os resultados obtidos nos primeiros testes, figura 40, constatou-se que o *gripper* de policarbonato, que inicialmente parecia demasiado simples, é suficiente para realizar o trabalho pretendido. Assim sendo, seguiu-se para o projeto de uma estrutura que fosse capaz de suportar qualquer placa de policarbonato, independentemente do seu tamanho. Isto significa que, durante o fabrico destas peças em ambiente industrial, a estrutura estará fixa e apenas será alterada a placa de policarbonato consoante os tamanhos pretendidos. Como os tamanhos das mesmas podem variar entre S, M e L existirão placas adequadas a cada um deles.

## 4.2. Gripper Desenvolvido na Empresa ESI Robotics

Após encenação do espaço de trabalho e de constatar que o *gripper* a ser desenvolvido não precisa de ser complexo nem excessivamente elaborado, simulou-se, no *software Autodesk Inventor*, um possível *gripper*, novamente em perfis de liga de alumínio, 30x60, com rasgo 6, bastante simplista, apenas para realização dos testes iniciais [45]. Começou-se então por desenhar uma matriz, com dimensões suficientes para suportar o acrílico. Esta estará posicionada entre o robô e o policarbonato.

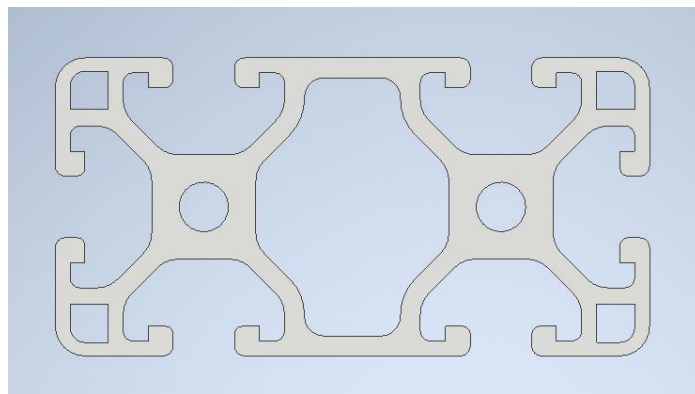


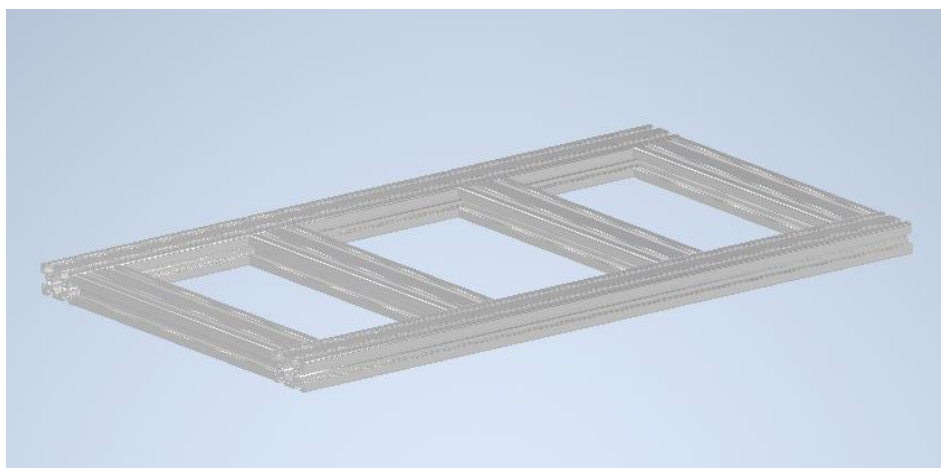
Figura 41- Perfil de Alumínio 30x60, utilizado na Matriz

Utilizou-se então uma estrutura pré-definida de um perfil de liga de alumínio, exibida na figura 41, seguido da sua extrusão, efetuada para dois comprimentos diferentes, nomeadamente, 250mm (duzentos e cinquenta milímetros) e 500 mm (quinhentos milímetros).

A ideia inicial seria realizar uma estrutura que conseguisse arrastar os moldes sem que estes sofressem deformações. Começou-se por realizar um retângulo, utilizando apenas

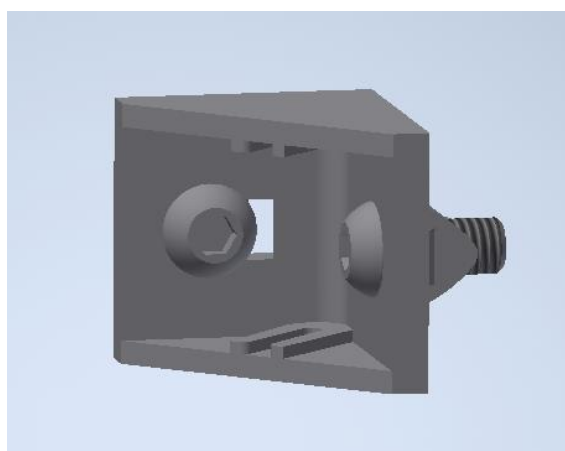
duas peças de 250mm (duzentos e cinquenta milímetros) e duas de 500mm (quinhentos milímetros).

No entanto, percebeu-se que este formato não facilitaria a fixação da matriz ao robô, e, por isso, optou-se por utilizar mais duas peças de 250mm (duzentos e cinquenta milímetros), centradas, que mais tarde sustentará uma estrutura que servirá como elo entre a matriz e o flange do robô. Verifica-se a matriz desenvolvida na figura 42.



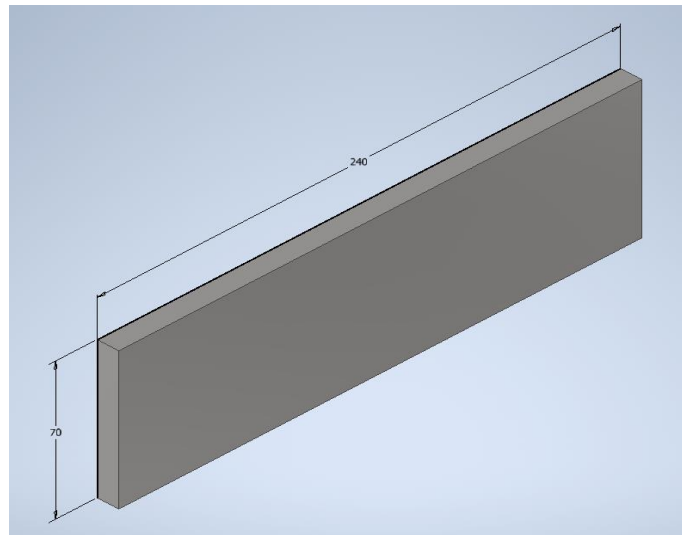
*Figura 42- Assemblagem dos Perfis de Alumínio de 250mm e de 500mm*

Antes de solucionar a forma como a matriz estará anexada ao robô, procurou-se utilizar novamente cantoneiras, da Norelem, que fixassem os perfis de alumínio no local desejado, proporcionando estabilidade à matriz. A cantoneira, observada seguidamente na figura 43, foi escolhida conforme o perfil utilizado (30x60) e com o tamanho do rasgo correspondente (6).



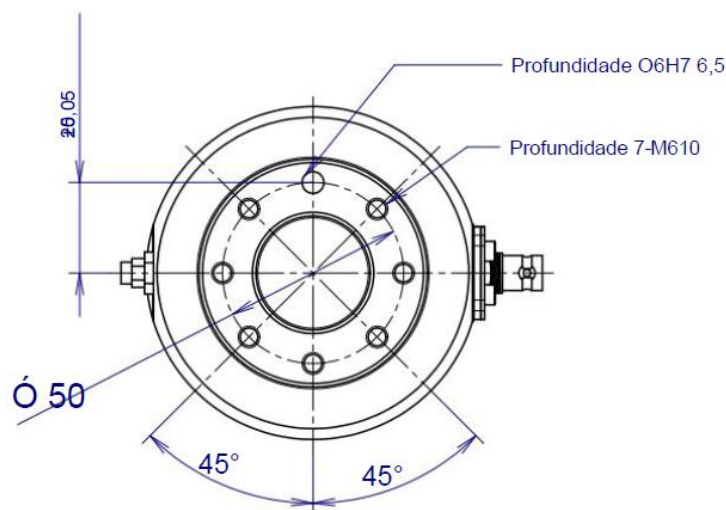
*Figura 43- Cantoneira Utilizada para Fixação da Matriz*

Como afirmado anteriormente, é fundamental haver um elo entre a matriz e o robô. Assim sendo, produziu-se uma chapa, figura 44, com 10mm (dez milímetros) de espessura, 240mm (duzentos e quarenta milímetros) de comprimento e 70mm (setenta milímetros) de largura.



*Figura 44- Chapa que servirá de Elo*

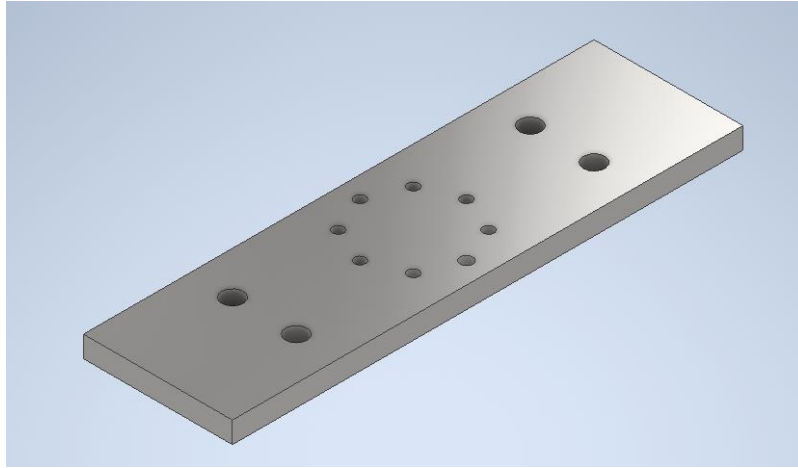
Para realizar as furações relativas ao flange do robô foi necessário seguir a interface da ferramenta do mesmo, apresentado na figura 45.



*Figura 45- Flange do Robô [29]*

A interface permite-nos perceber que é necessário um furo, com diâmetro de 6mm (seis milímetros), tolerância H7 e profundidade 6,5mm (seis milímetros e meio) e ainda 7 furos roscados, M6, com profundidade de 10mm (dez milímetros). Sabe-se também que

há espaçamento de 45° (quarenta e cinco graus) entre furos e que estes estão inseridos numa circunferência de diâmetro 50mm (cinquenta milímetros). Desta forma, conseguiu-se realizar os furos com o devido diâmetro e espaçamento angular entre si.



*Figura 46- Elo que estará situado entre o Robô e o Gripper*

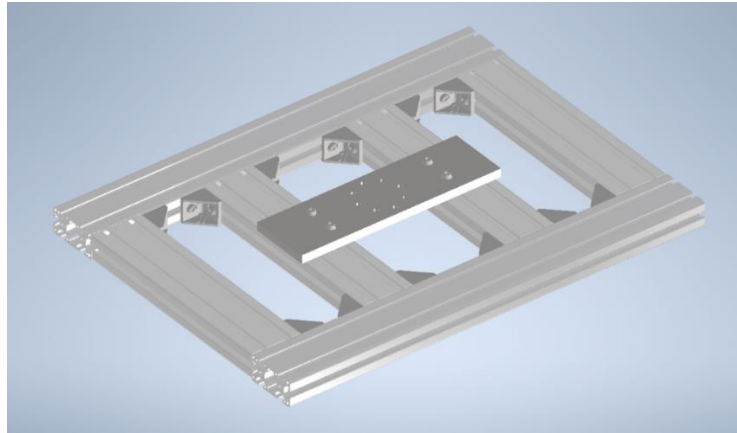
Na chapa, evidenciada na figura 46, foram realizadas 12 furações. Do total de furos, 8 deles foram realizados no centro, de acordo com o flange do robô, e os restantes 4 foram realizados de acordo com a distância necessária para fixar a matriz. Para fixação do elo à matriz, foram utilizados conetores universais M10, da Norelem, exibidos seguidamente na figura 47.



*Figura 47- Conectores Utilizados no Elo*

Desenhadas as peças necessárias para montagem da matriz, procedeu-se à concretização da assemblagem das mesmas, observada abaixo na figura 48. Foram utilizados dois perfis de alumínio 30x60, com extrusão de 500mm (quinhentos milímetros); quatro perfis de alumínio 30x60, com extrusão de 250mm (duzentos

milímetros), devidamente espaçados entre si; doze cantoneiras, figura 43; quatro conetores, figura 47; e, por fim, a chapa, figura 46, que lhes foi sobreposta.



*Figura 48- Matriz de Alumínio*

Para conclusão da montagem acima, foi necessária a inserção dos parafusos que correspondem ao flange do robô.

Depois de desenhada a matriz e com os testes realizados manualmente, percebeu-se que a manipulação pode ser executada com placas de policarbonato, no entanto, estas, ao invés de serem de forma retangular, podem sofrer algumas alterações, aumentando indubitavelmente a sua utilidade. Pensou-se então em desenvolver placas com a forma do molde das costas da t-shirt, deixando sempre 2,5cm (dois centímetros e meio) de margem para realização das costuras.



*Figura 49- Molde de Policarbonato*

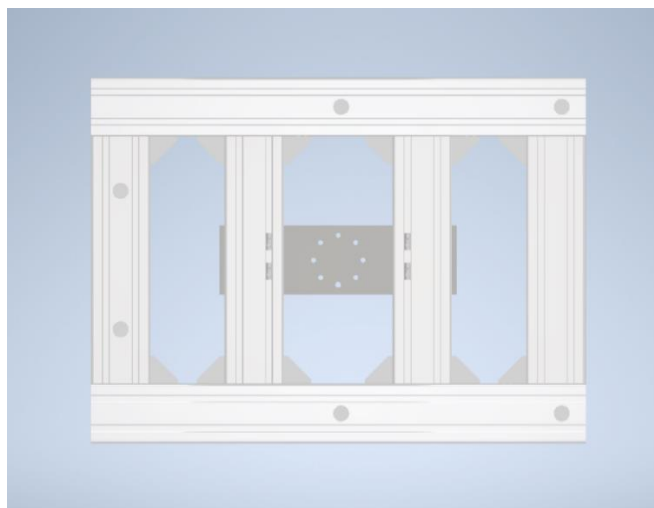
O molde em policarbonato observado na figura 49, facilitará o transporte das peças, e permitirá, futuramente, realizar as costuras dos ombros, como se pode corroborar na figura 50. Para a realização deste molde de policarbonato, utilizou-se o *sketch* do molde das costas da *t-shirt*, e, a partir daí, executou-se um *offset* do mesmo, onde se escolheu a margem que pretendemos obter.



Figura 50- Molde de Policarbonato Sobreposto à T-Shirt a ser Costurada

Neste ponto de situação, percebe-se que é necessário arranjar uma solução que permita sustentar, com segurança, as placas de policarbonato e ainda efetuar a substituição das mesmas, de forma rápida e eficiente. Para o problema referido, moldou-se o *gripper* para que fosse possível uma rápida alteração da placa de arrastamento, conforme o tamanho da *t-shirt* a ser produzida. Apostou-se na utilização de um sistema de ímanes, embutidos tanto na matriz como nos moldes de policarbonato, para garantir que o processo de troca fosse realizado rapidamente.

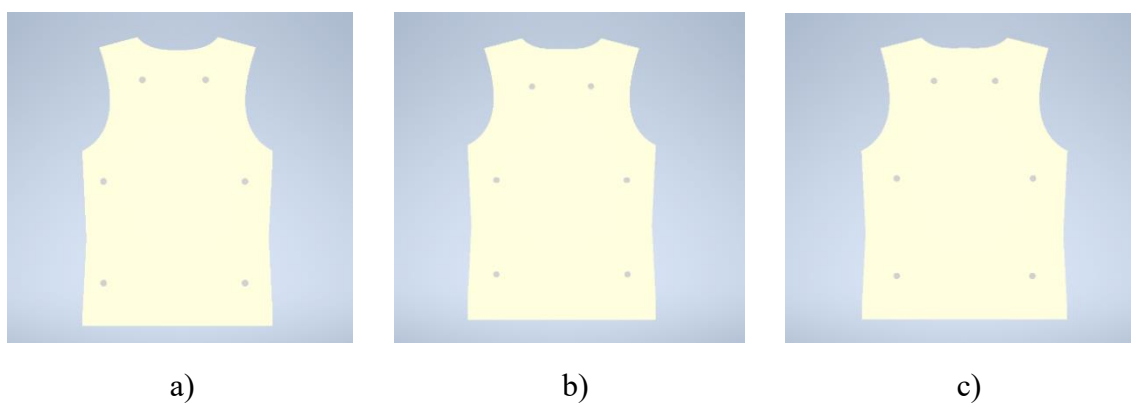
Com base na variação dos tamanhos das *t-shirts*, pretende-se estabelecer coordenadas comuns para serem colocados os ímanes. Isto quer dizer que, numa fase inicial da manipulação, procura-se encontrar uma solução padrão, para que a troca das placas de policarbonato seja fácil e rápida, independentemente do tamanho a costurar. Assim, conforme a dimensão da *t-shirt* a ser costurada, o robô será adaptado [48].



*Figura 51- Matriz com Ímanes Embutidos*

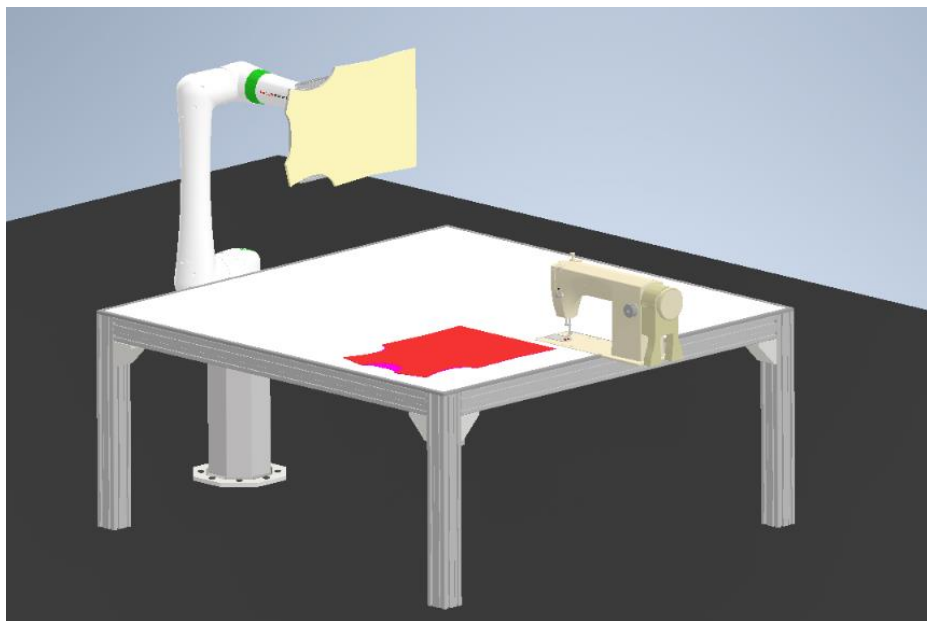
Como se observa na figura 51, foram embutidos 6 (seis) ímanes na matriz. Os dois ímanes situados no primeiro perfil de 250mm (duzentos e cinquenta milímetros), servirão para fixar a zona da gola e dos ombros, dos policarbonatos. Os restantes quatro sustentarão as laterais.

Para que o processo funcione devidamente, foram colocados ímanes nos policarbonatos, S, M e L, representados pelas letras a), b) e c), na figura 52, de acordo com as distâncias dos ímanes da matriz.



*Figura 52- Moldes das T-shirts S, M e L, demonstradas nas alíneas a), b) e c) respetivamente*

Com a utilização da atração magnética, espera-se que o processo de manipulação seja efetuado de forma estável e com sucesso.



*Figura 53- Simulação do Espaço de Trabalho com Inserção do Gripper Final*

Antes de passar à produção da matriz e dos policarbonatos, foi necessário conferir o peso total do *gripper*, visto que este não pode passar os 20kg (vinte quilos). É importante referir que, à medida que se foi desenhando, tanto a matriz como os policarbonatos, foi se escolhendo, no *Autodesk Inventor*, o material que se pretendia utilizar. Deste modo, a simulação do peso consegue ser bastante realista.

Para obter os valores, voltou-se ao CAD do *gripper* final e, observou-se a tabela de propriedades do conjunto final. Assim, o peso total (matriz + cantoneiras + elo + parafusos + molde de policarbonato (tamanho L) + ímanes) é, aproximadamente, 15kg (quinze quilos), como se pode corroborar na figura 54.

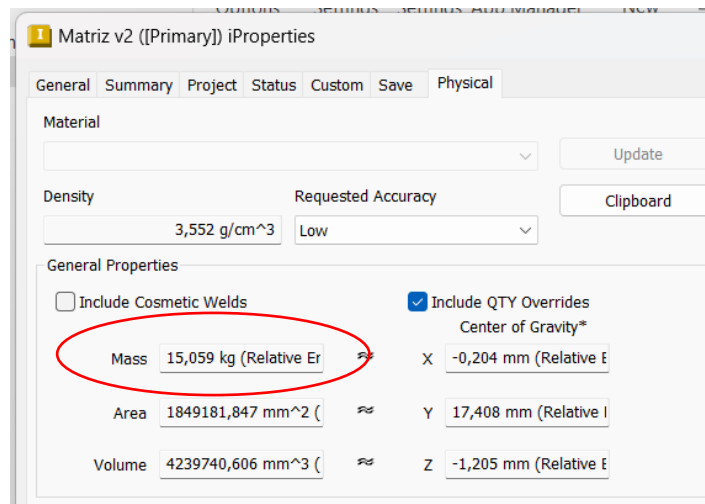


Figura 54- Tabela de Propriedades do Conjunto Gripper + Policarbonato

Para cálculo do peso do gripper foi utilizado o molde de tamanho L, uma vez que é o mais pesado; assim, se este não ultrapassar o limite estabelecido, mais nenhum ultrapassará. Validado o peso, seguiu-se à produção dos mesmos.

### 4.3. Testes Realizados com o Robô

Logo após a produção da matriz, iniciaram-se os testes práticos, ainda sem utilização das placas de policarbonato e do sistema de ímãs.



Figura 55- Robô Colaborativo FANUC com Matriz Inserida

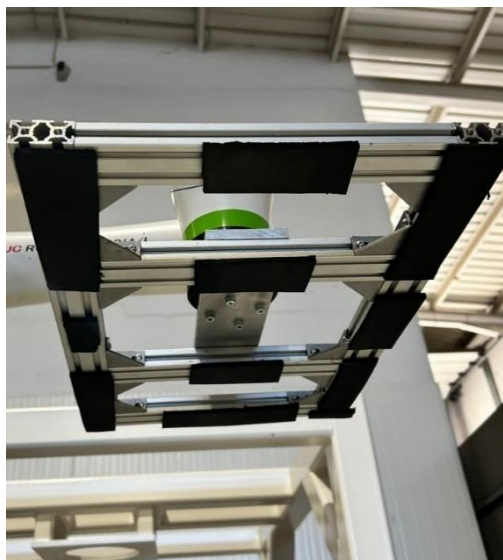
Como referido anteriormente, realizou-se os testes experimentais num robô colaborativo, FANUC, observado na figura 55. Com a matriz colocada no flange,

conectou-se o robô à máquina de costura, através de um autômato, figura 56, para que esta fosse sujeita às velocidades de corte e cose, comandas pelo mesmo.



*Figura 56- Autômato*

Antes do fabrico e da implementação do molde da placa de policarbonato, experimentou-se mover as duas camadas do tecido, apenas com a pressão aplicada pela matriz, no entanto, o atrito gerado não era suficiente para manipular os tecidos e, por isso, colocou-se fita de vedação autoadesiva, mostrada na figura 57. Posto isto, procedeu-se à realização dos testes.



*Figura 57- Matriz com Fita de Vedação Autoadesiva para Criar Atrito*

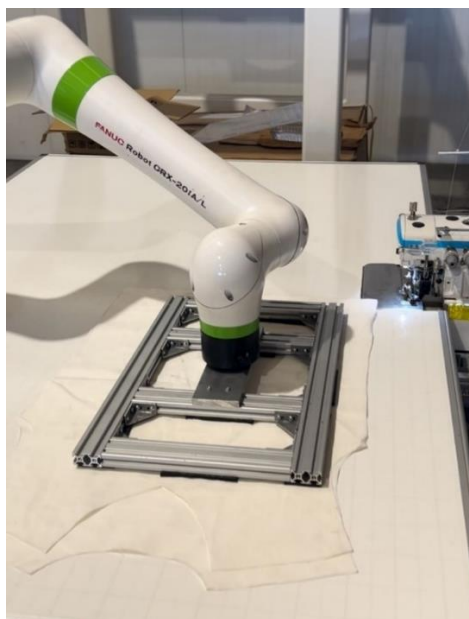
Para a manipulação dos tecidos através do robô, começou-se por estabelecer pontos de contacto entre o robô e a mesa de trabalho, para que o transporte da peça fosse realizado corretamente.

Como referido anteriormente, os robôs colaborativos possuem uma facilidade inigualável para programar e, por isso, o trajeto pretendido foi programado na consola com a ferramenta de “ensinar o robô”. Ou seja, programou-se o robô ponto a ponto, levando-o às coordenadas pretendidas e, assim, o robô limitou-se a seguir a trajetória escolhida.

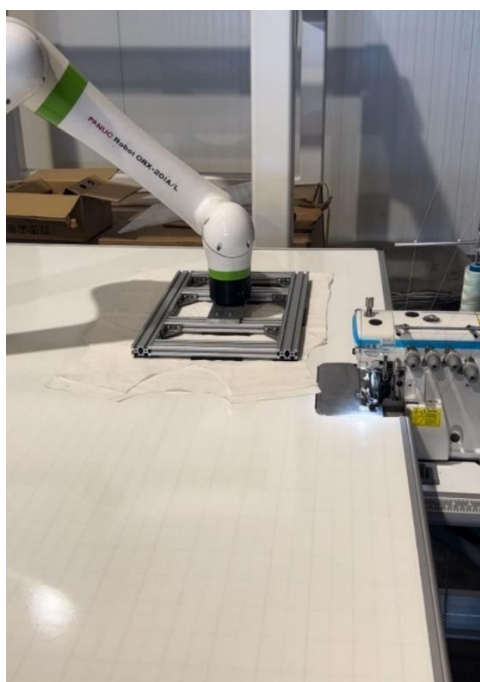


*Figura 58- Consola com Programação Ponto a Ponto*

Apesar da fácil programação deste robô, o processo tornou-se ligeiramente complicado, uma vez que a mesa utilizada para os testes experimentais não estava completamente nivelada. Este entrave fez com que o robô entrasse em esforço muitas vezes, durante o seu trajeto e não completasse o percurso pretendido. Foram necessários estabelecer bastantes pontos de contacto até se conseguir, finalmente, arrastar a *t-shirt* ao longo da mesa. Pode-se observar os vários pontos de contacto na figura 58.

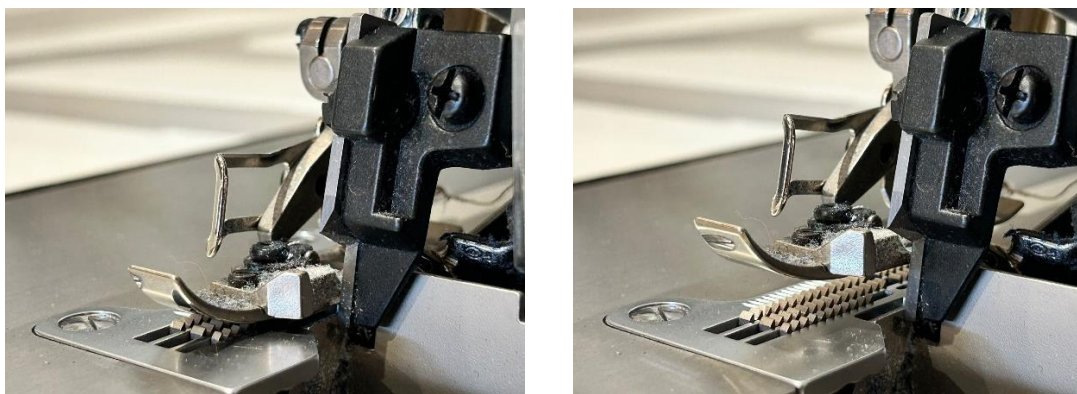


*Figura 59- Teste Experimental de Transporte da T-shirt ao Longo da Mesa (Posição Inicial)*



*Figura 60- Teste Experimental de Transporte da T-shirt ao Longo da Mesa (Posição Final)*

Após concluído o movimento de deslocação com sucesso, experimentou-se, pela primeira vez, passar a *t-shirt* na máquina de corte e cose. Nestes primeiros testes automatizou-se apenas o pedal que comanda as velocidades da máquina, o que significa que o outro pedal, o que move a patilha para o tecido entrar, ainda era manobrado com o pé. A patilha referida é demonstrada na figura 61.



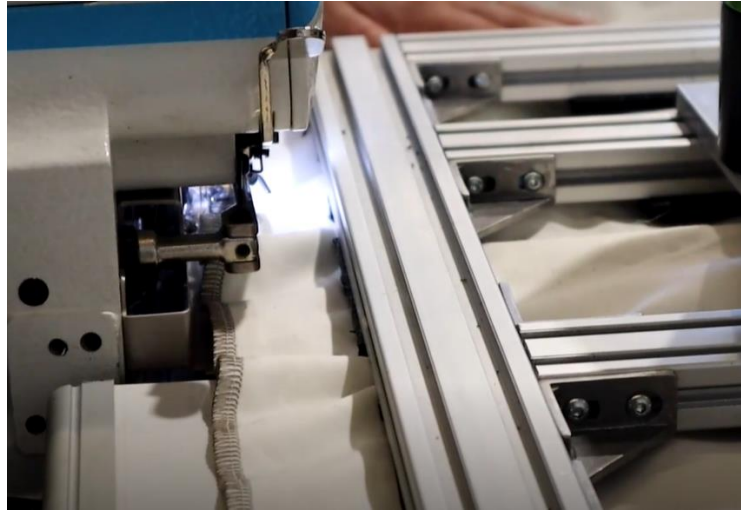
*Figura 61- Único Movimento Não Automatizado*

Como a patilha não foi alvo de automatização, o tecido moldava-se consoante os obstáculos que apareciam, como se observa na figura 62. Passava no local exato, o mais encostado possível à máquina de costura, sem qualquer erro ou paragem, mas a lateral não era cosida.



*Figura 62- Tecido Sem Costura*

Experimentou-se manipular a patilha com o pé, de forma coordenada com a velocidade de movimento do robô, para ver se o processo poderia resultar. Ademais, percebeu-se que é fundamental a calibração de velocidades entre o robô e a máquina de corte e cose, ou seja, a velocidade de avanço do robô deve ser proporcional à velocidade de corte e cose da máquina de costura, porque, caso contrário, há possibilidade de se partirem agulhas, a costura não é realizada de forma correta e o tecido apresenta enrugamentos como vemos, seguidamente, na figura 63.



*Figura 63- Exemplo de Teste com Velocidades Não Compatíveis*

Neste ponto de situação, as velocidades utilizadas foram relativamente baixas para perceber o funcionamento do processo e como se comporta o tecido quando sujeito ao ambiente de trabalho. Na figura 63 observa-se que a margem de tecido fora da matriz é bastante maior do que a margem quando acoplado o policarbonato, por isso, a probabilidade de surgirem enrugamentos é bastante elevada.

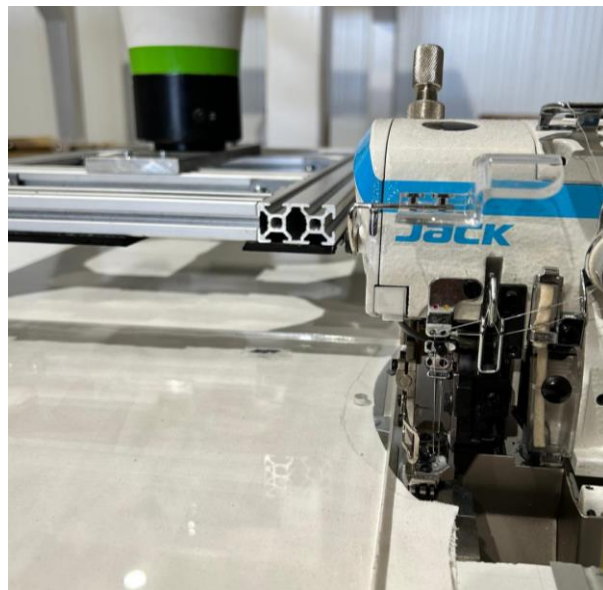
O ajuste de velocidades foi um processo bastante demorado, mas após encontrar coordenação, as costuras laterais foram realizadas de forma impecável, como se conclui na figura 64.



*Figura 64- Primeira Lateral Cosida com Manipulação da Matriz sem Policarbonato*

Esta primeira etapa foi concluída com eficácia, no entanto, ao utilizar apenas a matriz é necessário manter uma certa distância, ou, caso contrário, esta colide com a máquina. O aumento da margem de tecido fora da matriz, leva a que as velocidades utilizadas não sejam ideais. Desta forma, as costuras laterais demoram bastante tempo a ser produzidas.

No entanto, quando a placa de policarbonato for acoplada à matriz, haverá uma maior aproximação à máquina de costura, como se pode corroborar com a figura 65, e aí, espera-se que haja um aumento drástico nas velocidades utilizadas.



*Figura 65- Demonstração da Discrepância da Proximidade que se Conseguir Obter com a Matriz e com o Policarbonato*

# Capítulo V

## 5. Conclusão

A robótica e a automação são áreas extremamente desafiantes e a constante evolução da tecnologia torna-as extraordinárias. O estágio profissional realizado na ESI Robotics conseguiu provar o quão surpreendentes estas podem ser. Esta experiência bastante enriquecedora, marca o início de um novo ciclo, e foi, sem dúvida, uma mais-valia para o futuro. Foram adquiridas competências e foi notável um crescimento pessoal e profissional. A resolução de problemas, ao longo deste projeto, veio complementar as bases teóricas e adicionar conhecimentos técnicos.

Apesar dos entraves que acarretam os tecidos, está provado que é possível executar a sua manipulação e, por isso, crê-se que esta linha de produção seja implementada em fábricas têxteis num futuro próximo.

### 5.1. Síntese do Trabalho Desenvolvido

Na automatização da primeira etapa da linha de produção de *t-shirts*, os resultados obtidos foram bastante promissores, e por isso, acredita-se que é possível a automatização dos restantes passos.

À medida que os testes experimentais foram realizados, constatou-se que os resultados se apresentam mais favoráveis quando os tecidos são menos porosos e mais espessos. Em contrapartida, nos tecidos mais finos, há maior incidência para o aparecimento de dobras aquando da sua manipulação.

Corroborou-se então que quanto mais denso for o material da peça, melhor é a sua manipulação e, por conseguinte, o seu transporte. Nos testes experimentais foram utilizadas velocidades relativamente baixas e o tempo de ciclo não foi contabilizado, no entanto, sabe-se que na indústria este é um fator determinante.

Além disso, o facto de os primeiros testes terem sido realizados apenas com utilização da matriz de alumínio, acabou por trazer desvantagens. A matriz permitia que uma margem de tecido excessiva fosse deixada fora da matriz. Este fator veio impedir a possibilidade de arriscar nas velocidades empregadas. Quando os ímanes forem posicionados corretamente na matriz e na placa de policarbonato, a margem de tecido deixada fora do molde diminuirá consideravelmente, permitindo que as velocidades sejam superiores e, desta forma, o desempenho do *gripper* será, sem dúvida, mais eficiente, na realização das costuras.

Com automatização dos pedais da máquina de costura, com acoplamento da placa de policarbonato à matriz de alumínio, melhorar-se-ão, de imediato, os resultados e os tempos de ciclo.

## 5.2. Perspetivas Futuras

Para a sequência de operações realizadas, nesta fase inicial, existem melhorias que podem ser implementadas num futuro muito próximo, tais como, a utilização de visão artificial para a etapa de empilhamento e alinhamento das peças. Este é um exemplo perfeitamente exequível que, colocado em prática, dispensará os colaboradores destinados a este primeiro passo. Seria necessária a implementação de um *feedback* binário para validar a posição das peças e o desenvolvimento de um método de comunicação entre a visão artificial e o robô.

Relativamente ao processo de corte e cose das costuras laterais desenvolvido neste projeto, este não poderá sofrer muitas alterações. A única melhoria possível será a redução do tempo de ciclo, que funcionará logo que o processo for executado por um robô industrial, com o policarbonato acoplado.

No entanto, há ainda a possibilidade de aperfeiçoar o *gripper* desenvolvido. Seria importante haver um sistema que não exigisse troca de moldes quando se altera o tamanho a costurar. Para isso, seria imperativo desenvolver um *gripper* com um sistema de "pega" que não danificasse as peças e que tivesse a possibilidade de acertar ligeiramente a sua posição quer em x quer em y, para quando se trabalha com diferentes tamanhos. Um modelo que fosse capaz de atender a este propósito seria determinante para este projeto.

Concretizadas as costuras laterais, com a *t-shirt* do avesso, segue-se a execução das costuras tubulares (bainha). A Siruba realiza-as de forma automática, no entanto, para esta etapa, a *t-shirt* precisa de estar às direitas. Isto significa que será necessário existir um mecanismo que realize a “viragem” da *t-shirt*. Acredita-se que para o desenvolvimento deste passo, será necessária a utilização do *tapegripper*, seja para iniciar o processo de “viragem”, seja para inserir a peça na Siruba. Surgiram várias ideias para esta etapa, no entanto, até ao momento, nenhuma foi executada.

Inicialmente, pensou-se em começar o processo com o *tapegripper*, onde, após separadas a primeira camada de tecido da segunda, entraria, pela zona da bainha, um *gripper* composto por uma espécie de braços com pinças, que percorreriam a *t-shirt* até aos ombros. Aí seria realizada uma pegada de tecido e os braços voltariam à posição inicial, já com a *t-shirt* às direitas. Este processo é bastante rebuscado e pouco eficaz, por isso foi descartado automaticamente. Seguidamente surgiu a ideia de utilizar dedos flexíveis acoplados de um mecanismo de rotação, onde os dedos serviriam para segurar o tecido e o mecanismo faria com que o tecido fosse contornando o sistema até ficar totalmente voltado. Apesar de haver alguma possibilidade de resultar, a probabilidade de não ser funcional é bastante elevada. Por último, surgiu a ideia de utilizar a força gravitacional, com ajuda de algum mecanismo adjacente. Apesar de não ter sido desenvolvida, crê-se que é nesta opção que se deve apostar.

É importante destacar que em todas as ideias apresentadas, implementar-se-ia um mecanismo pneumático que seria acionado após a “viragem”, de forma a garantir que a *t-shirt* ficasse completamente esticada, evitando qualquer enrugamento.

Com desenvolvimento de uma solução capaz de realizar a “viragem” da *t-shirt* e após colocação da mesma na Siruba, pode-se considerar a linha de produção finalizada. A Siruba, além de realizar as costuras tubulares, encarrega-se também de retirar a peça do espaço de trabalho.

É de realçar que além estas soluções, será ainda necessária a implementação de sensores para que o robô se consiga situar na mesa de trabalho, dependendo do tamanho que está a costurar. Isto é, a implementação de sensores será crucial para que não seja preciso alterar as coordenadas quando se altera o tamanho do policarbonato. O robô deverá saber se se pode aproximar mais da máquina de costura ou não, de forma independente.

## Bibliografia

- [1] J. Lejarreta-Andres, J. Melia-Segui, R. Bhattacharyya, X. Vilajosana, e S. E. Sarma, «Toward Low-Cost RF-Based Bulk Fabric Classification for the Textile Industry», *IEEE Sens J*, vol. 22, n. 16, pp. 16586–16594, Ago. 2022, doi: 10.1109/JSEN.2022.3188936.
- [2] «ESI Robotics | Líderes em Automação Industrial e Robótica». Acedido: 24 de Abril de 2024. [Em linha]. Disponível em: [https://esirobotics.com/?gad\\_source=1&gclid=CjwKCAjww\\_iwBhApEiwAuG6cMiPa1YU2BMMk4mjpaXeh1TeMCGvOo\\_zkDmYHbyw0cy-Kc9iB2ZAMxoCOv8QAvD\\_BwE](https://esirobotics.com/?gad_source=1&gclid=CjwKCAjww_iwBhApEiwAuG6cMiPa1YU2BMMk4mjpaXeh1TeMCGvOo_zkDmYHbyw0cy-Kc9iB2ZAMxoCOv8QAvD_BwE)
- [3] J. J. DiPonio *et al.*, «EDITORIAL BOARD Automation Stuttgart. H'es; Germany».
- [4] «A história da robótica: dos autômatos antigos aos cobots e outros robôs modernos». Acedido: 20 de Maio de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://www.universal-robots.com/br/blog/a-hist%C3%B3ria-da-rob%C3%B3tica-dos-aut%C3%B4matos-antigos-aos-cobots-e-outros-rob%C3%B4s-modernos/>
- [5] «Indústria 5.0: características, tecnologias e impactos na sociedade». Acedido: 24 de Abril de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://www.totvs.com/blog/gestao-industrial/industria-5-0/>
- [6] «Inteligência Artificial nas empresas: impacto na indústria – ECO». Acedido: 24 de Abril de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://eco.sapo.pt/2024/01/26/inteligencia-artificial-nas-empresas-impacto-na-industria/>
- [7] «O Impacto da Inteligência Artificial (IA) na Indústria 4.0 - Livemes». Acedido: 24 de Abril de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://www.livemes.com/ia-industria-4-0/>
- [8] «Inteligência Artificial na Indústria: como funciona a aplicação?» Acedido: 24 de Abril de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://www.totvs.com/blog/gestao-industrial/inteligencia-artificial-na-industria/>

- [9] «Inteligência Artificial na Indústria 4.0: conheça as aplicações - CERTI Insights». Acedido: 24 de Abril de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://certi.org.br/blog/inteligencia-artificial-na-industria-conheca-as-aplicacoes/>
- [10] «Células robóticas “Made in Portugal” vão apoiar setor têxtil». Acedido: 24 de Abril de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://www.forbespt.com/celulas-roboticas-made-in-portugal-vao-apoiar-setor-textil-e-de-vestuario/>
- [11] «Travão nas encomendas assusta indústria do têxtil e vestuário para 2023 – ECO». Acedido: 24 de Abril de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://eco.sapo.pt/2022/12/27/travao-nas-encomendas-assusta-industria-do-textil-e-vestuario-para-2023/>
- [12] «O que nos vai trazer a moda em 2023? “Desaceleração global”, diz estudo internacional - Expresso». Acedido: 24 de Abril de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://expresso.pt/economia/2022-11-30-O-que-nos-vai-trazer-a-moda-em-2023--Desaceleracao-global-diz-estudo-internacional-9ff84788>
- [13] «Robotização na produção de vestuário mais perto | Portugal Têxtil | O Portal da Indústria Têxtil Portuguesa». Acedido: 24 de Abril de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://portugaltexil.com/robotizacao-na-producao-de-vestuario-mais-perto/>
- [14] «Têxteis: a reindustrialização está mais distante, mostram as estatísticas - Expresso». Acedido: 2 de Outubro de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://expresso.pt/economia/industria/2023-05-25-Texteis-a-reindustrializacao-esta-mais-distante-mostram-as-estatisticas-a25eae12>
- [15] «Saiba como se deu a evolução da indústria têxtil desde o princípio». Acedido: 24 de Abril de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://fcem.com.br/noticias/como-se-deu-a-evolucao-da-industria-textil-desde-o-principio/>
- [16] «Jornal T – Elas na ITV I: qual é lugar da mulher na indústria?» Acedido: 24 de Abril de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://jornal-t.pt/noticia/elas-na-itv-i-qual-e-lugar-da-mulher-no-sector/>
- [17] S. e S. S. Gabinete de Estratégia e Planeamento Ministério do Trabalho, «Quadros do Pessoal», Portugal, 2015.

- [18] «Quem quer trabalhar no sector têxtil? | Portugal Têxtil | O Portal da Industria Têxtil Portuguesa». Acedido: 24 de Abril de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://portugaltextil.com/quem-quer-trabalhar-no-sector-textil/>
- [19] A. Paula, P. Marques, e E. Afrontamento, «Um estudo de caso da indústria têxtil», 2005, Acedido: 24 de Abril de 2024. [Em linha]. Disponível em: [www.edicoesafrontamento.pt](http://www.edicoesafrontamento.pt)
- [20] «Caraterização - ATP». Acedido: 2 de Outubro de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://atp.pt/pt-pt/estatisticas/caraterizacao/>
- [21] «Têxteis: a reindustrialização está mais distante, mostram as estatísticas - Expresso». Acedido: 24 de Abril de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://expresso.pt/economia/industria/2023-05-25-Texteis-a-reindustrializacao-esta-mais-distante-mostram-as-estatisticas-a25eae12>
- [22] «Collaborative robotic automation | Universal Robots Cobots». Acedido: 24 de Abril de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://www.universal-robots.com/>
- [23] «Página Inicial - SPMAQ». Acedido: 24 de Abril de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://www.spmaq.pt/>
- [24] «Cobots: os robôs colaborativos como colegas | KUKA AG». Acedido: 24 de Abril de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://www.kuka.com/pt-pt/future-production/colabora%C3%A7%C3%A3o-homem-rob%C3%B4/cobots>
- [25] «Robôs colaborativos já são realidade na Indústria 4.0 | ABB». Acedido: 24 de Abril de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://new.abb.com/news/pt-BR/detail/74647/robos-colaborativos-ja-sao-realidade-na-industria-40>
- [26] B. B. Vidal, H. Delesporte Concegnieri, J. Felipe, M. Alves, e O. De Barros Júnior, «ESTUDO DOS MICRO ROBÔS E SUA APLICABILIDADE NA MEDICINA».
- [27] «Collaborative Robotics: The Present And Future For Medical Device And Healthcare Applications». Acedido: 24 de Abril de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://www.linkedin.com/pulse/collaborative-robotics-present-future-medical-device-rich-roberge>
- [28] «Robótica - INESC TEC». Acedido: 27 de Outubro de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://www.inesctec.pt/pt/clusters/robotica-101#intro>

- [29] «Springer Handbook of Robotics».
- [30] «CRX-20iA/L - Fanuc». Acedido: 2 de Outubro de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://www.fanuc.eu/pt/pt/rob%3%b4s/p%3%a1gina-filtro-rob%3%b4s/rob%3%b4s-colaborativos/crx-20ial>
- [31] F. Schincariol, «Universidade Braz Cubas». Acedido: 3 de Outubro de 2024. [Em linha]. Disponível em: [https://www.academia.edu/5157781/Universidade\\_Braz\\_Cubas](https://www.academia.edu/5157781/Universidade_Braz_Cubas)
- [32] «Interação homem-robô para a robótica colaborativa - INESC TEC». Acedido: 24 de Abril de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://www.inesctec.pt/pt/projetos/cobotis#about>
- [33] «Colaboração homem-robô na linha de produção | KUKA AG». Acedido: 24 de Abril de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://www.kuka.com/pt-pt/future-production/colabora%C3%A7%C3%A3o-homem-rob%C3%B4>
- [34] «Gripper 101: What is a Gripper?» Acedido: 24 de Abril de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://www.automation.com/en-us/articles/2011-1/gripper-101-what-is-a-gripper>
- [35] «A history of gripping and gripper technologies and the available options for today's engineer | Machine Design». Acedido: 24 de Abril de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://www.machinedesign.com/markets/robotics/article/21833349/a-history-of-gripping-and-gripper-technologies-and-the-available-options-for-todays-engineer>
- [36] «230414\_Tapegripper\_Bedienungsanleitung\_de\_en\_V2\_1».
- [37] «Manipulating industrial robots-Mechanical interfaces», 2004. [Em linha]. Disponível em: [www.iso.org](http://www.iso.org)
- [38] C. Cristina Marques Vânia Pacheco, T. Cristiano Figueiredo Gonçalo Costa Maria Fernandes Luís Rocha, e R. Técnico, «Ficha técnica Título 05 Referencial Técnico-Automação & Robótica SALTO ALTO ctep criativo AUTOMAÇÃO & ROBÓTICA». [Em linha]. Disponível em: [www.metalshoefablab.pt](http://www.metalshoefablab.pt)

- [39] «10 Aplicações da robótica no presente e no futuro - Maestrovirtuale.com». Acedido: 24 de Abril de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://maestrovirtuale.com/10-aplicacoes-da-robotica-no-presente-e-no-futuro/>
- [40] «TCC - Lucas Rodrigues Loureiro (Corrigido + ficha Catalográfica)».
- [41] I. Politécnico De Tomar, «S A A Escola Superior de Tecnologia de Abrantes», 2004.
- [42] «Software Inventor | Obter preços e comprar o Inventor 2023 oficial». Acedido: 30 de Abril de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://www.autodesk.pt/products/inventor/overview?term=1-YEAR&tab=subscription&plc=INVPROSA>
- [43] «Funcionalidades do Inventor | Funcionalidades de 2024, 2023, 2022 | Autodesk». Acedido: 30 de Abril de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://www.autodesk.pt/products/inventor/features>
- [44] «SiRUBA ASC-TBH200 Automatic T-shirt Bottom Hemming Machine - YouTube». Acedido: 2 de Outubro de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=rP7w8ZaJs34>
- [45] «NOSSA EMPRESA | norelem ES». Acedido: 1 de Outubro de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://norelem.es/pt/empresa>
- [46] «Popular models | 3D CAD Model Collection | GrabCAD Community Library». Acedido: 1 de Outubro de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://grabcad.com/library>
- [47] «Homepage PT :: CITEVE». Acedido: 1 de Outubro de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://www.citeve.pt/>
- [48] «Robôs melhorando a indústria têxtil. | KUKA AG». Acedido: 24 de Abril de 2024. [Em linha]. Disponível em: [https://www.kuka.com/pt-pt/ramos-de-atividade/banco-de-dados-de-solu%C3%A7%C3%B5es/2022/06/robotextile\\_rob%C3%B3tica-de-pequeno-porte-na-produ%C3%A7%C3%A3o-t%C3%AAxtil](https://www.kuka.com/pt-pt/ramos-de-atividade/banco-de-dados-de-solu%C3%A7%C3%B5es/2022/06/robotextile_rob%C3%B3tica-de-pequeno-porte-na-produ%C3%A7%C3%A3o-t%C3%AAxtil)