



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Filipe Manuel Lopes Fernandes

**Gestão da implementação de um sistema
robótico com navegação autónoma e
paletização automática**

Dissertação de Mestrado

Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial

Trabalho efetuado sob a orientação de

Professora Doutora Ana Sofia de Pinho Colim

Professor Doutor José Dinis de Araújo Carvalho

Junho de 2023

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho. ***Licença concedida aos utilizadores deste trabalho***



Atribuição

CC BY

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar gostaria de agradecer a todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para que a Universidade Minho fosse criada e se tenha mantido até aos dias de hoje sempre em crescimento, que tanto contributo tem dado aos alunos, professores, investigadores e funcionários que nela desempenharam ou ainda desempenham hoje as suas funções.

Em segundo lugar gostaria de agradecer aos professores que contribuíram para que a aquisição de conhecimentos que fazem hoje de mim, uma pessoa muito mais preenchida e preparada para os desafios profissionais e pessoais, que tem surgido e que certamente iram surgir no futuro.

Em terceiro lugar gostaria de agradecer aos trabalhadores da empresa e responsável pela área onde foi realizado este estudo, pelo acolhimento e pela colaboração quando solicitada. Agradecer também aos elementos do DTx envolvidos no projeto, pela companhia pelo apoio e disponibilidade em auxiliar quando necessário, em especial ao Gaspar pelas boleias dadas e pelas explicações em algumas matérias que enriqueceram de alguma forma o meu conhecimento sobre robótica colaborativa e condução autónoma.

Em quarto lugar gostaria de agradecer ao professor Luís Rocha por ter aceitado ser meu tutor na empresa onde foi desenvolvido este projeto, pela sua disponibilidade e simpatia. Agradeço também ao professor Dinis Carvalho por ter aceitado fazer esta orientação em conjunto com a professora Ana Colim, agradeço todo apoio dado e sugestões que muito contribuíram para desenvolver e avançar durante este projeto. Agradeço muito à professora Ana Colim por me ter aceitado para fazer a dissertação neste projeto. Foi uma experiência incrível, muito enriquecedora e que me permitiu crescer de várias formas. Agradeço também pela disponibilidade, paciência e simpatia com que sempre respondeu as minhas dúvidas e necessidade de orientação.

Por último e não menos importante, agradeço à minha família, colegas de curso e amigos pela compreensão e paciência que tiveram de ter durante estes anos. Agradeço em especial à minha mãe por sempre me dar aquela palavra, que mesmo não sendo necessária, elevava ainda mais a minha força e vontade de seguir em frente, aos meus filhos que sem se aperceberem eram uma lufada de ar fresco que me renovava para avançar sempre mais um pouco, que muito ajudou a chegar aqui, hoje.

Por isso e por muito mais digo, OBRIGADO a todos, sejam felizes.

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

RESUMO

Gestão da implementação de um sistema robótico com navegação autónoma e paletização automática

Esta dissertação contribuiu para perceber a importância de modernizar um posto de trabalho, de modo a melhorar a qualidade de vida dos trabalhadores e aumentar a capacidade produtiva em uma estação de produção numa empresa de mobiliário.

O objetivo central deste trabalho prende-se com a identificação e análise das alterações introduzidas pela implementação de um sistema robótico que inclui três importantes funções, nomeadamente: paletização automática de subprodutos, controlo de qualidade e navegação autónoma entre postos de trabalho. A análise desta implementação considerou as perceções dos trabalhadores e a organização da produção. Com a metodologia adotada para este projeto, envolvemos os trabalhadores, criando-se uma dinâmica de entre ajuda por todas as partes envolvidas. Foram realizados questionários aos trabalhadores para perceber a sua perceção sobre a robótica industrial *vs* robótica colaborativa e da usabilidade de uma aplicação *mobile* criada para interagir e controlar o sistema robótico.

Os principais resultados foram obtidos através das opiniões dadas em questionário pelos trabalhadores. Fez-se ainda um estudo de tempos que ajudou a perceber melhor e de forma mais clara, os ganhos conseguidos em termos de redução de tempo na realização das tarefas que antes eram realizadas manualmente.

Desta forma, conseguiu-se a modernização do posto de trabalho, o aumento de capacidade produtiva, redução de tempo na realização das tarefas, melhoria da qualidade de vida dos trabalhadores e aumento das competências dos trabalhadores.

PALAVRAS-CHAVE

Robótica colaborativa; Ergonomia; LMERT; Produtividade.

ABSTRACT

Management of the implementation of a robotic system with autonomous navigation and automatic palletisation

The contribution of this dissertation work is oriented towards realizing the importance of modernizing a workstation, in order to improve the quality of life of workers and increase the productive capacity of a production station, in a furniture company.

The central objective of this work concerns the identification and analysis of the changes introduced by the implementation of a robotic system that includes three important functions, namely: automatic palletizing of by-products, quality control and autonomous navigation between workstations. In the analysis of this implementation, the workers' perceptions and the organization of production were considered. With the methodology adopted for this project, workers were involved, creating a dynamic of mutual help by all parties involved. Questionnaires were carried out with workers to understand their perception of industrial robotics vs collaborative robotics and the feasibility of using a mobile application, created to interact and control the robotic system.

The main results were obtained through the opinions resulting from the questionnaire given to the workers. A time study was also carried out, which helped to understand better and more clearly the gains achieved in terms of time reduction in carrying out tasks that were previously carried out manually.

In this way, it was possible to modernize the workplace, increase production capacity, reduce time spent on tasks, improve workers' quality of life and increase workers' skills.

KEYWORDS

Collaborative robotics; Ergonomics; LMERT; Productivity.

ÍNDICE

Agradecimentos.....	iii
Resumo.....	v
Abstract.....	vi
Índice de Figuras	ix
Índice de Tabelas	x
Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos.....	xi
1. Introdução	1
1.1 Enquadramento.....	1
1.2 Objetivos	2
1.3 Metodologia de investigação	2
1.4 Estrutura da dissertação	3
2. Enquadramento Teórico	5
2.1 Produção <i>Lean Manufacturing</i>	5
2.1.1 Evolução da Produção LM.....	5
2.1.2 <i>Waste Identification Diagram With Ergonomic Assessment (WIDEA)</i>	6
2.2 Ergonomia em contextos ocupacionais.....	7
2.3 Métodos usados para avaliação de risco LMERT	8
2.3.1 <i>Rapid Upper Limb Assessement (RULA)</i>	9
2.3.2 <i>Key indicator Method (KIM)</i>	11
2.4 Sinergia entre E&FH e LM	13
2.5 Robótica Colaborativa	16
3. Descrição e Diagnóstico da Situação Inicial.....	17
3.1 Descrição das entidades envolvidas	17
3.2 Matéria-prima.....	22

3.3	Processo produtivo.....	23
3.4	Estado inicial da unidade de produção.....	25
3.5	Problemas identificados	26
4.	Descrição das alterações implementadas	27
4.1	Alteração do posto de trabalho	28
4.2	Alteração das funções do trabalhador	29
4.3	Alteração dos tempos na recolha e paletização de <i>pré-frames</i>	29
4.4	Alteração do nível de produtividade.....	33
4.5	Estrutura do questionário sobre usabilidade e perceções sobre robótica	33
5.	Resultados e Discussão	37
5.1	Trabalhadores com mais formação e autonomia.....	37
5.2	Perceção atual dos trabalhadores sobre robótica colaborativa	41
5.3	Alterações no processo produtivo	44
6.	Conclusões.....	47
	Referências Bibliográficas	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Exemplos de tarefas com movimentos repetitivos onde foi aplicado o método RULA no chão de fábrica(adaptado) (Colim et al., 2021)	9
Figura 2 – Grupo A e Grupo B (adaptado) (Mcatamney & Nigel, 1993)	10
Figura 3 - Classificação de algumas posturas corporais e posições de carga do método KIM....	12
Figura 4 – Mapa ilustrativo das diferentes revoluções industriais retirado da NetscanDigital, 2023	14
Figura 5 – Frame.....	18
Figura 6 – Componentes e dimensões de uma frame.....	18
Figura 7 – Exemplo de uma pilha de frames após montagem final com a representação das diferentes pré-frames e ripas simples	18
Figura 8 – Fluxograma produtivo.....	19
Figura 9 – Ripas simples	20
Figura 10 – Pré-frames simples	21
Figura 11 – Pré- frames duplas.....	21
Figura 12 – Cubos usados para produzir pré-fames simples e pré-frames duplas.....	22
Figura 13 – Cola usada para unir as partes na montagem das pré-frames e frames.....	22
Figura 14 – Layout da unidade produtiva alvo deste projeto.....	23
Figura 15 – Ripas simples consumidas na Master Frame	24
Figura 16 – Robô colaborativo que foi instalado	25
Figura 17 - Sistema de navegação MiR200 (mobile-industrial-robots, 2023).....	27
Figura 18 - Configuração do posto de trabalho atualmente	28
Figura 19 - Recolha de pré-frames	30

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Nível de ação requerido (adaptado) (Mcatamney & Nigel, 1993).....	10
Tabela 2 - Tabela avaliação KIM.....	12
Tabela 3 - Tempos observados em estudo anterior (Peixoto, 2022)	31
Tabela 4 - Tempos verificados anteriormente e agora	32
Tabela 5 - Número de observações necessárias	32
Tabela 6 - Variação de tempos diferentes na realização das mesmas operações.....	32
Tabela 7 - Resultados da secção A do questionário realizado	38
Tabela 8 - Resultados da secção B do questionário realizado.....	38
Tabela 9 - Resultados da secção C do questionário realizado, com distribuição do número de respostas por categoria	39
Tabela 10 - Secção D do questionário realizado.....	40
Tabela 11 - Resultados da secção E do questionário realizado e distribuição das respostas ao longo das categorias	41
Tabela 12 - Resultados da secção F do questionário realizado e distribuição das respostas ao longo das categorias	42
Tabela 13 - Resultados da secção G do questionário realizado e distribuição das respostas ao longo das categorias	43
Equação 1 - Para determinar a dimensão da amostra (adaptado) (Costa & Arezes, 2016).....	8
Equação 1 - Para determinar a dimensão da amostra (adaptado) (Costa & Arezes, 2016).....	31

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

DTx: *Digital Transformation Colab*

E&HF: Ergonomia e Fatores Humanos

JIT: *Just-in-time*

HDF: *high density fiberboard*

KIM: *Key Indicator Method*

L: *Lean*

LM: *Lean Manufacturing*

LMERT: Lesões musculoesqueléticas relacionadas com o trabalho

MIR: *Mobil Industrial Robots*

RULA: *Rappid Upper Limb Assessment*

TC: Tempo de ciclo

TPS: *Toyota Production System*

WIDEA: *Waste Identification Diagram With Ergonomic Assessment*

1. INTRODUÇÃO

Esta dissertação de mestrado será realizada em contexto de empresa. Este primeiro capítulo servirá para apresentar o enquadramento desta dissertação, serão apresentados os objetivos definidos, bem como a metodologia adotada para realização do estudo e como será organizada essa abordagem.

1.1 Enquadramento

No contexto industrial, para melhorar o desempenho dos postos de trabalho e melhorar as condições de trabalho, pode ser necessário recorrer a novas tecnologias, novos equipamentos que estejam disponíveis para a indústria no mercado, sendo uma das opções a robótica colaborativa (Breque et al., 2021). Com esta tecnologia é possível uma interação humano-robô de forma física, sem riscos para o trabalhador e passar a ser possível a realização de operações em conjunto, uma realidade que não existia na indústria.

Relacionado com a robótica colaborativa e condução autónoma, este projeto foi desenvolvido no DTx Colab que é uma associação sem fins lucrativos que desenvolve a sua atividade efetuando investigação aplicada em diferentes áreas associadas à transformação digital. Em colaboração com um dos seus associados industriais, que opera no setor do mobiliário, envolve-se uma equipa multidisciplinar que agrega o conhecimento de várias áreas, desde a Engenharia Eletrónica, Mecânica, Ergonomia e Gestão Industrial. Desta forma pretende-se diminuir a distância entre a indústria e tecnologias emergentes que têm sido criadas e/ou aperfeiçoadas em centros de inovação e desenvolvimento como o DTx Colab.

Atualmente, os robôs colaborativos encontram-se disponíveis no mercado para serem implementados em chão de fábrica, contribuindo para a evolução dos processos produtivos, tornando os postos de trabalho mais produtivos e ergonómicos, de forma dinâmica e flexível (Villani et al., 2018). Neste contexto, será apresentada uma avaliação de um posto de trabalho com um sistema robótico implementado. Para se realizar uma comparação com o plano estimado inicialmente e caso seja necessário efetuar/propor alterações para uma correção ou ajuste da tecnologia às operações realizadas, a formação e informação dos trabalhadores sobre este novo sistema robótico é também essencial. Perspetivando uma melhoria das condições de trabalho,

diminuindo assim a probabilidade futura de ocorrência de lesões musculoesqueléticas nos trabalhadores, entre outros problemas (Petit et al., 2016). Sabemos também que muitas destas melhorias, por vezes, ocorrem nesta fase de implementação e entrada em pleno funcionamento, podendo ser sugeridas pelos próprios trabalhadores (Cardoso et al., 2021).

1.2 Objetivos

Esta dissertação tem como objetivo identificar as alterações a que o posto de trabalho foi sujeito com a implementação de um sistema robótico colaborativo com condução autónoma e paletização automática. Para alcançar o objetivo principal foram definidos objetivos secundários:

- 1) Perceber quais as alterações feitas ao posto de trabalho com a implementação do sistema com robótica colaborativa;
- 2) Melhorar as condições de trabalho reduzindo o risco Lesões musculoesqueléticas relacionadas com o trabalho (LMERT), através da implementação do robô colaborativo;
- 3) Melhorar a produtividade (“otimização dos processos”), com estudo dos tempos e redução de tarefas sem valor acrescentado;
- 4) Melhorar a qualidade dos produtos.

1.3 Metodologia de investigação

A metodologia adotada para levar a cabo esta dissertação será a metodologia Investigação-ação como uma metodologia que engloba diferentes formas de realizar pesquisas empíricas, podendo ser considerada uma metodologia multidisciplinar (Erro-Garcés & Alfaro-Tanco, 2020), que se enquadra com o estudo que será realizado no âmbito desta dissertação. Para a realização deste projeto será necessário o envolvimento dos trabalhadores, e criar uma dinâmica de entreajuda entre todas as partes envolvidas, para alcançar os melhores resultados possíveis.

Como acima mencionado, esta dissertação foi desenvolvida em contexto de empresa no âmbito de um estágio curricular realizado no DTx Colab. Onde uma equipa multidisciplinar de áreas distintas como Gestão Industrial, Robótica, Ergonomia e Fatores Humanos (E&HF) e *Design*, de forma concertada se reuniu, debateu e planeou detalhadamente todas as etapas a ser percorridas. Foram realizadas várias reuniões, foram também realizadas visitas à empresa para recolha de dados, cronometragem de tempos de operação, acompanhamento das diferentes fases de

implementação umas de teste outras de pleno funcionamento, realização de formação aos trabalhadores sobre o funcionamento da aplicação *mobile* (desenvolvida para uma melhor e mais fácil interação entre os trabalhadores e o robô colaborativo), e posteriormente, aplicação de questionários de usabilidade da aplicação *mobile*, e percepção da robótica colaborativa. Sucintamente, as fases do projeto foram as seguintes:

- 1) Análise e diagnóstico da situação atual;
- 2) Avaliação do desempenho;
- 3) Recolha da percepção dos trabalhadores sobre a robótica colaborativa e usabilidade de uma APP *mobile*;
- 4) Definição de um plano de ações;
- 5) Avaliação de resultados.

1.4 Estrutura da dissertação

A estrutura desta dissertação está dividida em seis capítulos, sendo que o primeiro capítulo apresenta o enquadramento, os objetivos, a metodologia de investigação usada e estrutura da dissertação.

No segundo capítulo, foi realizado o enquadramento teórico, recorrendo a uma revisão bibliográfica sobre métodos, ferramentas e contexto histórico dos temas abordados nos capítulos seguintes.

No terceiro capítulo é feita uma breve apresentação do DTx Colab, uma demonstração da implementação de um robô colaborativo, é também feita uma apresentação do estado inicial da unidade de produção e de um diagnóstico da unidade de produção.

No quarto capítulo, é apresentada uma descrição das alterações implementadas e estudo de tempos do robô em funcionamento.

No quinto capítulo serão apresentados os resultados, com demonstração das principais transformações, opinião dos trabalhadores sobre essas mudanças, percepção dos trabalhadores sobre a robótica colaborativa e sobre a aplicação *mobile* após implementação. Uma observação sobre os resultados obtidos no questionário realizado em trabalho anterior e os obtidos no questionário realizado no âmbito deste projeto, perceber impacto real do sistema colaborativo na organização da produção, da produtividade, da qualidade e da segurança.

O sexto capítulo será a apresentação de conclusões e recomendações para estudos futuros.

2. ENQUADRAMENTO TEÓRICO

Neste capítulo é feita uma abordagem aos conceitos e ferramentas usadas neste projeto. A Filosofia *Lean*, cria valor e elimina desperdícios, pretende manter um fluxo contínuo, uma produção *Pull*, sendo suportada por metodologias e ferramentas. O envolvimento dos operadores, previne defeitos e promove práticas mais sustentáveis. No presente capítulo, será também feita uma abordagem ao impacto que o estudo ergonómico tem na qualidade de vida das pessoas com as alterações e soluções que estuda e implanta nos postos de trabalho bem como o impacto na produtividade. Iremos abordar a forma como será realizada a recolha de tempos e a sua cronometragem e métodos usados para a avaliação ergonómica. A sinergia entre *Lean Manufacturing* (LM) e Ergonomia é um outro tema revisto. Por fim, é apresentada uma abordagem à Indústria 4.0, com pano de fundo as várias revoluções indústrias, e uma apresentação mais acentuada sobre a robótica colaborativa em contexto industrial.

2.1 Produção *Lean Manufacturing*

A produção *Lean* desafiou com sucesso os modelos clássicos usados na indústria automóvel após o seu surgimento, mudando significativamente a relação entre produtividade, qualidade, custo e tempo usado (Holweg, 2007), passando a ser amplamente integrada numa vasta gama de serviços e manufatura de grandes escalas.

2.1.1 Evolução da Produção LM

No outono de 1973, as economias globais enfrentavam uma grande estagnação, a economia japonesa estava também a ser fustigada com o efeito desta crise, então conhecida como a crise do petróleo. Mas a *Toyota Motor Company* apesar de lucros mais reduzidos, continuava a ter lucro (Ohno, 1988). A razão para essa anormalidade face ao que estava a acontecer em muitas empresas americanas, europeias e mesmo japonesas, tinha origem nos anos após a segunda guerra mundial. Foi quando o Sr. Toyoda Kiichirō (1894-1952), presidente da companhia na altura, definiu como objetivo, alcançar o nível de produção das indústrias ocidentais em três anos. Em particular o nível de produção dos Estados Unidos da América (Ohno, 1988)a.

Para alcançarem esse objetivo teriam de aumentar a sua produção entre oito a nove vezes. Para isso foi determinante encontrar e eliminar todo o desperdício, nascendo assim a casa do sistema de produção Toyota, conhecido por *Toyota Production System* (TPS). O TPS é um sistema de produção desenvolvido com o objetivo de garantir fiabilidade ao menor custo possível através da eliminação de desperdícios. Abrange a administração de equipamentos, de materiais e recursos humanos, garantindo um ambiente de trabalho seguro. Este sistema inspirou-se em métodos de reabastecimento usados pela rede de supermercados *Piggly Wigglyz* (Kehr & Proctor, 2017). O método *just-in-time* (JIT), caracterizado pelo produto certo, na hora certa e na quantidade certa é um dos pilares do TPS, o outro pilar é o método *Jidoka* que quer dizer máquina autónoma ou automação com um toque humano, que integra o sistema *Poka-Yoke* para evitar produtos defeituosos (Ohno, 1988).

Taiichi Ohno era um engenheiro de produção, que abordou o desafio com foco em muitos aspetos que influenciam o bom desempenho dos sistemas produtivos, dando atenção, à qualidade dos produtos, aos custos associados, a sistemas simples, flexíveis, ergonômicos, de baixo custo, adequado e verde, eliminando o consumo de energia desnecessário (Durakovic et al., 2018).

2.1.2 *Waste Identification Diagram With Ergonomic Assessment* (WIDEA)

Uma das ferramentas usadas neste projeto é a *Waste Identification Diagram With Ergonomic Assessment* (WIDEA) que integra uma abordagem LM e a Ergonomia. Os diagramas de identificação de desperdícios com avaliação ergonómica, como são designados em português, são caracterizados por representar de forma visual a movimentação de produtos de pessoas e informação entre postos de trabalho, dentro de um processo produtivo com o objetivo de ultrapassar algumas limitações de outras ferramentas de mapeamento de processos produtivos (Dinis-Carvalho et al., 2019). Visa correlacionar a abrangência dos estudos ergonómicos realizados, e assim tornar mais intuitivo, pragmático e redundante os próximos estudos realizados nos processos produtivos (Arezes et al., 2021). Uma forma visual e rápida de identificar todos os desperdícios, compreender os fluxos de produção e indicadores de produção (Dinis-Carvalho et al., 2019). Estes diagramas são uma forma integrada com a Ergonomia que potencia a produtividade, aumentando a eficácia e a eficiência do desempenho nos processos produtivos industriais.

Uma recente aplicação desta ferramenta no chão de fábrica, revelou a sua grande capacidade de mostrar de forma intuitiva e rápida um conjunto de informações relevantes para a identificação de desperdícios e movimentos associados, usando os indicadores de produção em conjunto com os indicadores ergonómicos, que permitem rapidamente diagnosticar os principais problemas de um processo produtivo, interligando a produção *Lean* com a avaliação ergonómica (Peixoto, 2022) podendo permitir aumentar a competitividade ao negócio

2.2 Ergonomia em contextos ocupacionais

A importância de estudos ergonómicos em postos de trabalho não é recente, servem para reduzir ou eliminar problemas, que potenciam lesões e ocorrência de acidentes de trabalho, tanto por fadiga como por cansaço extremo nos trabalhadores (Robert & Brangier, 2012). Esses estudos serviram para dar um contributo e auxiliar a identificar com maior precisão as alterações necessárias, em que tipo de operações ou movimentos, para assim se reduzir ou eliminar esses eventos, que prejudicam a saúde dos trabalhadores com risco de acidente ou atrasos na produção.(Rost & Alvero, 2020). A produtividade do trabalho passa a aumentar com as melhorias ergonómicas (Suryoputro et al., 2018).

Neste âmbito, para quantificar a produtividade existe um conjunto de técnicas, como por exemplo o estudo de tempos ou cronometragem. Esta técnica permite quantificar o trabalho, considerando condições de trabalho e dificuldades associadas, sendo uma técnica de observação direta intensiva, apropriada para tarefas manuais ou semiautomática de ciclos curtos e repetitivos (Costa & Arezes, 2016). Esta técnica adequa-se ao presente trabalho, pois possibilita um rigoroso registo de tempos de ciclos repetitivos, registando-se os tempos de operações produtivas manuais ou semiautomáticas.

A cronometragem e o estudo de tempos representam uma das fases mais importantes do trabalho realizado na abordagem deste projeto, será uma das principais formas, para a obtenção de indicadores relevantes. Bem como as ferramentas e métodos que permitem obter indicadores ergonómicos relevantes para a apresentação e implementação de soluções nos postos de trabalho estudados. A cronometragem consiste na observação direta intensiva (ou recorrendo a gravações em vídeo) e registo dos tempos. Esses tempos são medidos recorrendo a cronómetros e aos vídeos se necessário. Paralelamente com a cronometragem é observada e classificada a cadência de trabalho. Para os tempos serem considerados relevantes para o estudo, é necessário determinar

o número mínimo de observações a realizar, para assim ser possível obter uma amostra representativa (Costa & Arezes, 2016). Para determinar o número N de observações efetuadas, recorre-se normalmente à seguinte formula ver Equação 1.

Equação 1 - Para determinar a dimensão da amostra (adaptado) (Costa & Arezes, 2016)

$$N' = \left(\frac{Z * s}{m * \epsilon} \right)^2$$

- 1) Z corresponde à distribuição normal;
- 2) ϵ ao erro médio do desvio padrão;
- 3) m ao valor médio dos tempos dos elementos;
- 4) s ao desvio padrão;
- 5) N' é o número de observações que será necessário efetuar para satisfazer o nível de confiança desejado.

Será considerado o número suficiente de amostras realizadas quando $N' \leq N$. Para determinar N, e aceitando como satisfatório um nível de confiança de 95% e um a precisão de 5%, podendo iniciar a determinação de N', com uma recolha de tempos de dez e ir aumentando até satisfazer o critério $N' \leq N$ (Costa & Arezes, 2016).

2.3 Métodos usados para avaliação de risco LMERT

As LMERT abrangem todas as lesões de músculos, tendões, nervos e ligamentos, que podem ocorrer de forma isolada ou em simultâneo com lesões noutros grupos ou pontos do corpo. Por vezes, acompanhadas de sintomas e outras com ausência deles. São frequentes nos membros superiores, região escapular e cervical, podendo originar incapacidade para trabalhar de forma temporária, ou em caso mais agudos/graves, permanente (Castelôa et al., 2019).

2.3.1 *Rapid Upper Limb Assenssment (RULA)*

Entre os vários tipos de observações, o método RULA (Mcatamney & Nigel, 1993) caracteriza-se por ser um método observacional, de fácil aplicação e aceitação, sendo flexível e podendo ser aplicado a várias áreas de trabalho como o exemplo da (Figura 1), onde outros métodos se revelam pouco práticos, devido à complexidade de implementação e perturbação que provocam no quotidiano dos trabalhadores ou constrangimentos no fluxo produtivo (Kee, 2022). Apesar destas características, ainda beneficia de uma outra que tem a ver com o baixo custo para ser implementado, que faz com que este método seja um dos mais populares e facilmente aceites, quer pelas empresas quer pelos trabalhadores (Lynn & Corlett, 1993). Este método é usado para estudar posturas e movimentos repetitivos, com o objetivo de definir limites aceitáveis para os trabalhadores nesse tipo de movimentos a serem realizados como em alguns casos de estudo já realizados (Colim et al., 2020), faz a avaliação postural de força e movimentos associados a tarefas sedentárias de manipulação de índole repetitiva e ciclos curtos (Mcatamney & Nigel, 1993). Para isso o autor deste método dividiu a análise do corpo em dois grupos, designados por grupo **A** e Grupo **B** (Figura 2). O grupo **A** representa: Braço, antebraço, pulso e rotação do pulso e o grupo **B** representa: Pescoço, tronco e membros inferiores, esses grupos serão avaliados atribuindo-lhes uma pontuação recorrendo a uma tabela desenvolvida pelo autor deste método, para realização de uma avaliação do nível de ação a ser adotado (Peixoto, 2022), representados na Tabela 1.

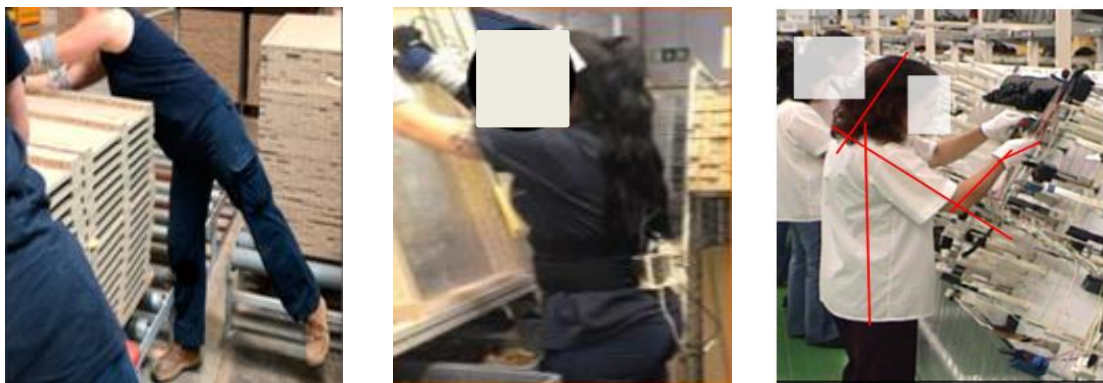


Figura 1 – Exemplos de tarefas com movimentos repetitivos onde foi aplicado o método RULA no chão de fábrica(adaptado)

(Colim et al., 2021)

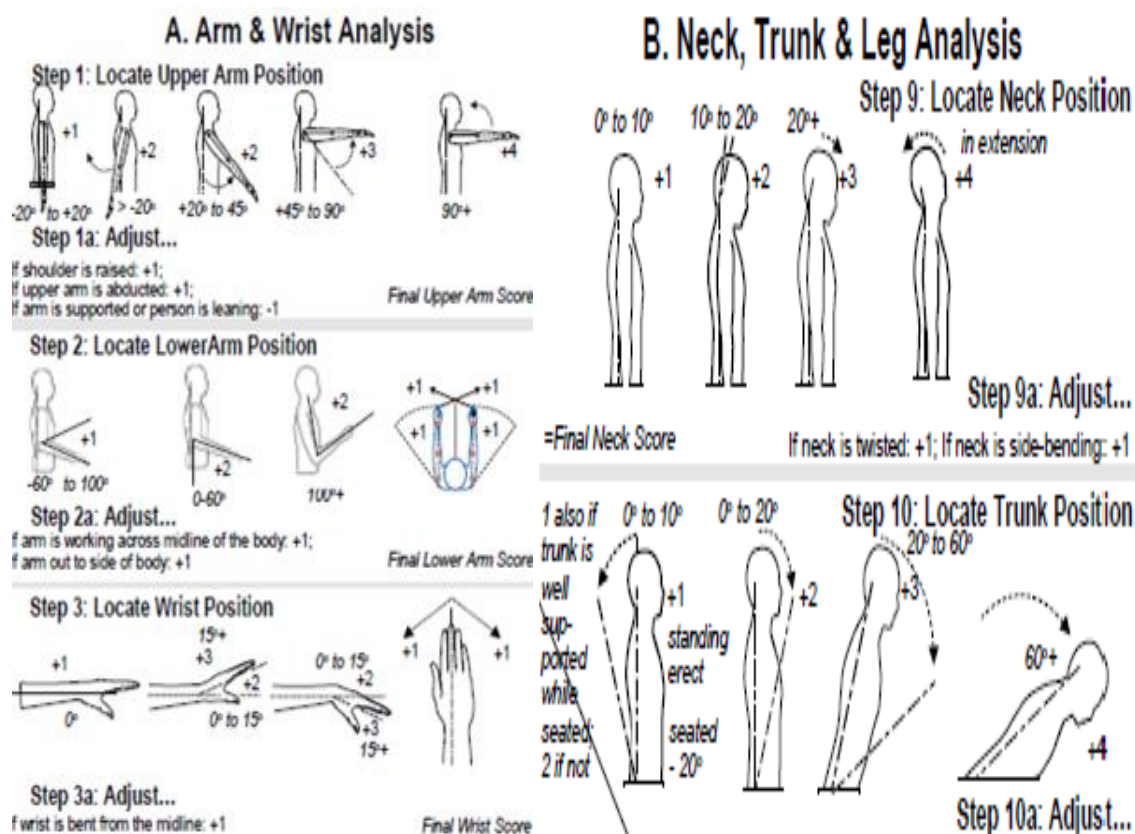


Figura 2 – Grupo A e Grupo B (adaptado) (Mcatamney & Nigel, 1993)

Tabela 1 - Nível de ação requerido (adaptado) (Mcatamney & Nigel, 1993).

Nível de Ação	Ação
A	Pontuação de 1 e 2 indica que aquela postura é aceitável se não for mantida ou repetida durante períodos longos
B	Pontuação de 3 ou 4 indica que é necessário mais observação e poderá ser necessário introduzir alterações.
C	Uma pontuação de 5 ou 6 indica que é necessário uma investigação cuidada e que devem ser introduzidas modificações em breve.
D	Uma pontuação de 7 indica que é necessário investigação e que devem ser introduzidas modificações imediatas.

2.3.2 Key indicator Method (KIM)

O método KIM foi publicado pelo *Federal Institute for Occupational Safety and Health (BAuA)* e pelo *Comimitee of the German States for Occupational safety and Health (LASI)*. Atualmente vários métodos já desenvolvidos permitem avaliar o risco nas atividades de levantamento e transporte de cargas com KIM- *Lifting, Holding and Operations* (LHC), puxar e empurrar cargas manualmente com KIM- *Pushing and Pulling* (PP), processos de trabalho manual com KIM- *Manual Handling Operations* (MHO), força total do corpo com KIM- *Body Forces* (BF), postura forçada com KIM- *Awkward Body Postures* (ABP), locomoção do corpo com KIM- *Boby Movement* (BM).

Estando ainda em desenvolvimento um método KIM- *Mixed Exposures* (ME) adicional para avaliar cargas de trabalho físicas mistas (Klussmann et al., 2017). O KIM é um método de triagem manual que é aplicado para obter uma avaliação rápida da atividade laboral (Figura 3) por meio da identificação de riscos à saúde (Feldmann et al., 2019). Após realização da avaliação é possível determinar qual as medidas a tomar como representado ver Tabela 2. O Objetivo dos KIM é documentar os principais indicadores de carga física da forma mais fácil possível e tornar as correlações claras para o usuário permitindo uma avaliação aproximada da probabilidade de sobrecarga física, possíveis consequências para a saúde bem com a necessidade de ação decorrente da pontuação obtida (Baua – Federal Institute for Occupational Safety and Health, 2019).

Corpo característico postura e posições de carga	Postura corporal e posição de carga	Pontos de classificação
	• Parte superior do corpo na vertical, não torcida • Carregue diretamente no corpo	1
	• Ligeiro movimento frontal ou torcional da parte superior do corpo • Carregue diretamente ou próximo ao corpo	2
	• Flexão profunda ou frente larga ou frontal leve com movimento de torção simultâneo da parte superior do corpo • Carga acima do ombro ou longe do corpo	4
	• Frente ampla com movimento de torção simultâneo de a parte superior do corpo • Carga longe do corpo • Ajoelhado ou agachado	8

Figura 3 - Classificação de algumas posturas corporais e posições de carga do método KIM

Tabela 2 - Tabela avaliação KIM

Risco	Nível de Risco	Medidas
1	<20 pontos	Nenhuma.
2	20 <50 pontos	Redesenho do local de trabalho; outras medidas de prevenção podem ser úteis.
3	50 <100 pontos	Redesenho do local de trabalho; outras medidas de prevenção devem ser consideradas.
4	>= 100 pontos	Redesenho do local de trabalho; outras medidas de prevenção têm de ser consideradas.

2.4 Sinergia entre E&FH e LM

A metodologia LM procura eliminar todos os desperdícios num sistema produtivo, sejam eles desperdício de tempo ou de recursos. Recorre a ferramentas e a princípios de melhoria contínua para alcançar esses objetivos (Dinis-Carvalho et al., 2019). Com a implementação de ferramentas de otimização, redução de desperdícios de materiais, redução de tempos na execução das operações e uma maior eficiência na utilização dos recursos disponíveis, naturalmente irá incrementar um maior ritmo de trabalho em todo o processo produtivo (Durakovic et al., 2018), que quando implementado de forma híbrida com E&FH, para além de se conseguir uma redução de tempos de produção, melhora as condições ergonómicas e aumenta o bem estar dos trabalhadores no posto de trabalho. Um estudo com esta sinergia entre E&FH e LM, demonstrou ser um método válido e eficiente para implementar e avaliar estações de trabalho colaborativo, garantindo a melhoria contínua dos processos produtivos (Colim et al., 2021).

As grandes revoluções industriais conhecidas pela 1ª, 2ª, 3ª dão origem ao aparecimento da indústria 4.0. Conhecidas como as quatro revoluções industriais que nos permitiram hoje, estarmos a viver a 4ª revolução industrial (Figura 4).

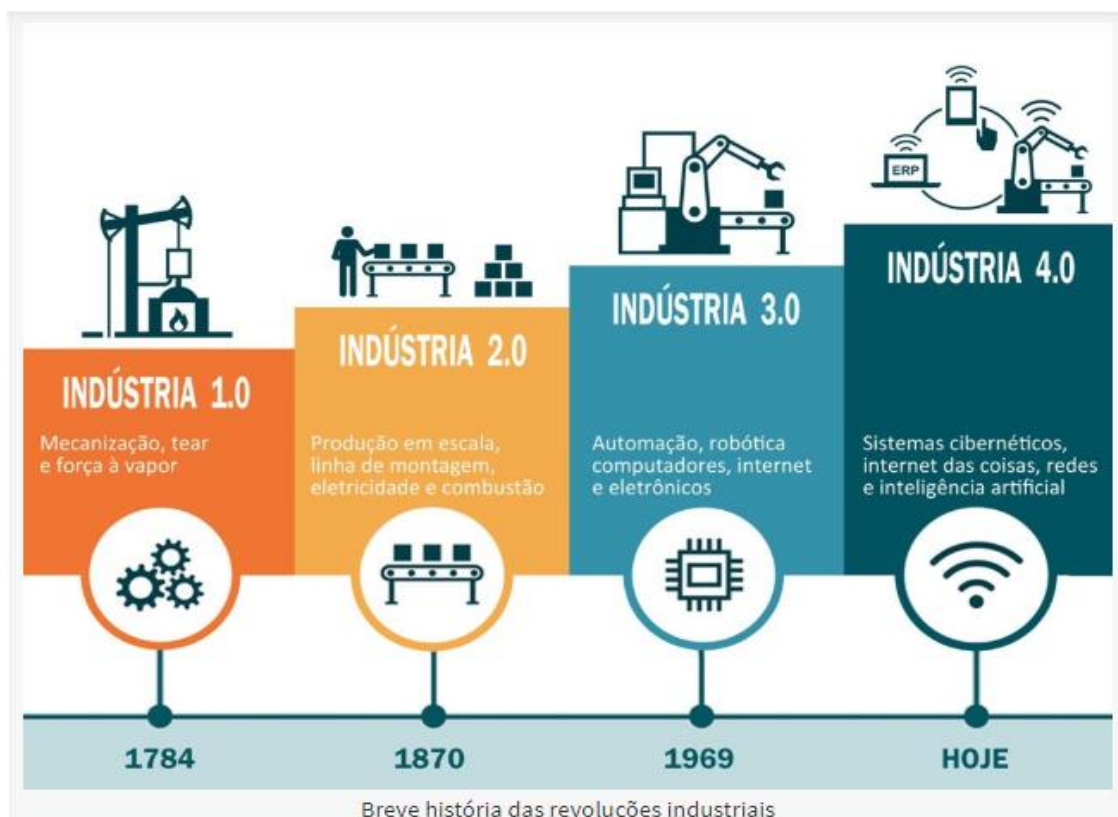


Figura 4 – Mapa ilustrativo das diferentes revoluções industriais retirado da NetscanDigital, 2023

A indústria 1.0, primeira revolução industrial, tem origem em meados do século XVIII e caracterizou-se pela implementação da tecnologia revolucionária à época, que eram as máquinas a vapor, permitindo às empresas beneficiarem da força e rapidez, das operações mecanizadas que essas máquinas permitiam realizar, para a execução de diversas tarefas pesadas, repetitivas e de pouco valor acrescentado nos produtos (Jeevitha & Ramya, 2018).

A indústria 2.0, segunda revolução industrial, tem origem, quase 100 anos depois, em finais do século XIX, e ficou marcada pela produção em massa, com um impacto tão grande na vida das pessoas que permitiu, um grande crescimento económico das empresas, dos países e melhorar substancialmente a qualidade de vida das pessoas. Neste período passaram a existir diversos produtos e serviços, que até então não era possível, passou a ser usado a energia elétrica e produtos eletrónicos, dispositivos mecânicos, carros, entre outros ainda usados no dia a dia de hoje. Um marco importante da indústria 2.0, foi *The Principle of Scientific Mnagement* de *Frederick Taylor*, Sendo *Taylor* considerado o “Pai da Administração Científica”. Ficou também marcada

pela produção em massa de *Henry Ford* e *Taichi Ohno* criador do sistema de produção *Toyota* (TPS), o precursor de *Lean Manufacturing*.

A indústria 3.0, terceira revolução industrial, surge mais tarde na década de 80, já no final do século XX, caracteriza-se por grandes avanços tecnológicos, informatização dos sistemas e processos produtivos, nesta fase da terceira revolução industrial, acontece alterações em várias dimensões, sendo uma delas, o tempo de entrega dos produtos desde que se efetua a compra até ser recebida, onde a volatilidade na indústria e mercados passou a ser uma constante (Yin et al., 2018).

O surgimento da indústria 4.0, quarta revolução industrial, ou como se chama usualmente “digitalização dos negócios”, surge da evolução natural da comunicação realizada entre homem e máquina, passando a ser realizada também, entre máquinas e assim toda a comunicação passar a ocorrer de forma sincronizada. Dando um grande salto na forma como se processa a informação para a otimização no processamento da informação gerada em todo o processo produtivo (Roblek et al., 2016). Este conceito desenvolvido em centros de desenvolvimento e universidades, está a ser muito bem aceite na indústria (Oztemel & Gursev, 2020). A indústria 4.0 está a favorecer a digitalização dos processos e assim contribuir para o avanço mais rápido da implementação de medidas dinâmicas, que dão origem a práticas mais sustentáveis em torno dos processos produtivos, conseguindo-se assim alcançar metas de sustentabilidade e produtividade que estavam nos objetivos das empresas mas raramente eram alcançados de forma consistente e sistemática (Felsberger et al., 2022). Os resultados desta nova forma de processar a informação tem contribuído para um melhor desempenho das indústrias de manufatura, é expectável que de forma gradual, cada vez mais empresas digitalizem os seus negócios e os seus processos produtivos, permitindo grandes transformações dos negócios com o incremento de novas tecnologias, crescentes níveis de competitividade e inovação (Hughes et al., 2022), obtendo assim redes de informação próprias, onde circula a informação de forma automática e sincronizada, resultando em melhor comunicação, menos vieses, mais celeridade e menos desperdícios, estando assim a contribuir para o aumento da sustentabilidade das empresas.

2.5 Robótica Colaborativa

Surgiu da necessidade de melhorar as condições de trabalho dos trabalhadores, reduzir os problemas de qualidade por erro humano, melhorar a produtividade e realizar operações de pouco valor acrescentado e muito repetitivas (Hughes et al., 2022). A robótica colaborativa durante a última década foi sendo introduzida na indústria de forma gradual, as empresas viram o surgimento de uma nova categoria de robôs, os robôs colaborativos ou “*cobots*”, que foram projetados para interagir com os trabalhadores de forma física, onde os trabalhadores poderão interagir em simultâneo com o robô sem existir as conhecidas barreiras de proteção com risco de acidente ou atrasos na produção.

Uma das vantagens da robótica colaborativa para além de ser mais rápida nas execuções de diversas operações, é poder ser integrada de forma harmonizada com os trabalhadores em diversos contextos produtivos, contribuindo para o aumento da produtividade e reduzindo o esforço dos trabalhadores em operações de pouco valor acrescentado (Ciccarelli et al., 2022). Seu potencial é indiscutível, especialmente pela sua capacidade de reconfiguração para operações diferentes em novos *layouts*, no entanto requer que os trabalhadores, tenham conhecimento adequado para poderem interagir com esta nova tecnologia e as empresas estejam recetivas ao investimento, pois o custo associado na aquisição destes robôs, é influenciado pela realização de operações mais ou menos complexas (Matheson et al., 2019).

Veremos esta tecnologia cada vez mais nos braços de produção tradicionais, realizando operações lado a lado com os trabalhadores de forma sincronizada e interativa. Os robots colaborativos têm também a vantagem de serem configurados para realizarem diferentes operações em diferentes *layouts*. As indústrias que mais estão a adotar esta tecnologia são a indústria eletrónica e automóvel (Matheson et al., 2019), embora já se encontre noutros tipos de indústria, como no caso deste projeto que se realiza numa indústria de mobiliário.

3. DESCRIÇÃO E DIAGNÓSTICO DA SITUAÇÃO INICIAL

Neste capítulo iremos abordar a descrição do projeto e a zona de trabalho onde é realizado este estudo. Será feita uma apresentação do DTx Colab, da empresa onde será realizado este projeto e o seu ramo de atividade industrial.

3.1 Descrição das entidades envolvidas

O DTx Colab é a entidade de acolhimento deste estágio curricular do qual resultou a presente dissertação. O DTx Colab é uma associação sem fins lucrativos, constituída por dezoito membros associados, sendo eles, três Universidades, um Laboratório internacional, um centro de Engenharia e Inovação, treze Empresas de vários tipos de indústria produtiva e ainda duas Unidades de Interface. O DTx Colab desenvolve a sua atividade efetuando investigação aplicada em diferentes áreas associadas à transformação digital. Os problemas estudados pelo DTx Colab incidem em quatro tipologias distintas, sendo elas, projetos específicos (PE) entre grupos associados, projetos prospetivos (PP) entre todos associados, projetos diretos (PD) entre um ou mais associados e projetos competitivos (PC).

A empresa que acolhe este projeto é uma multinacional do ramo mobiliário. Esta empresa é uma associada do DTx Colab, e colocou como desafio, procurar tecnologias inovadoras para solucionar problemas relacionados com os seus processos produtivos. Com essas soluções e com os recursos existentes, pretende-se reduzir o número de defeitos nos produtos, melhorar a qualidade de vida dos seus trabalhadores e aumentar a produtividade. Dessa forma, foi implementado um sistema robótico colaborativo, para melhorar a organização de uma estação produtiva, estando assim a contribuir para o aumento da competitividade externa da empresa, nos mercados mais competitivos à escala global. Este projeto estuda uma unidade produtiva que faz montagem de *frames* de *high density fiberboard* (HDF). Estas *frames* são partes estruturais, que darão suporte e robustez a tampos de mesas e secretarias. Para uma determinada referência (KT), a montagem de uma parte destas *frames*, é realizada de forma automatizada e as restantes são montadas manualmente. Este trabalho é focado em *frames* HDF, por ser o produto com maior expressão produtiva nesta unidade (Figura 5, 6 e 7).

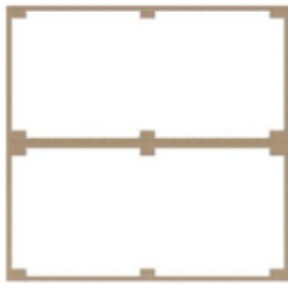


Figura 5 – Frame

Referência	Componentes
KT	2 ripas de 792x32x13,5 mm
	2 ripas de 742x32x13,5 mm
	1 ripa de 742x32x28 mm
	12 cubos de 40x32x22 mm

Figura 6 – Componentes e dimensões de uma frame

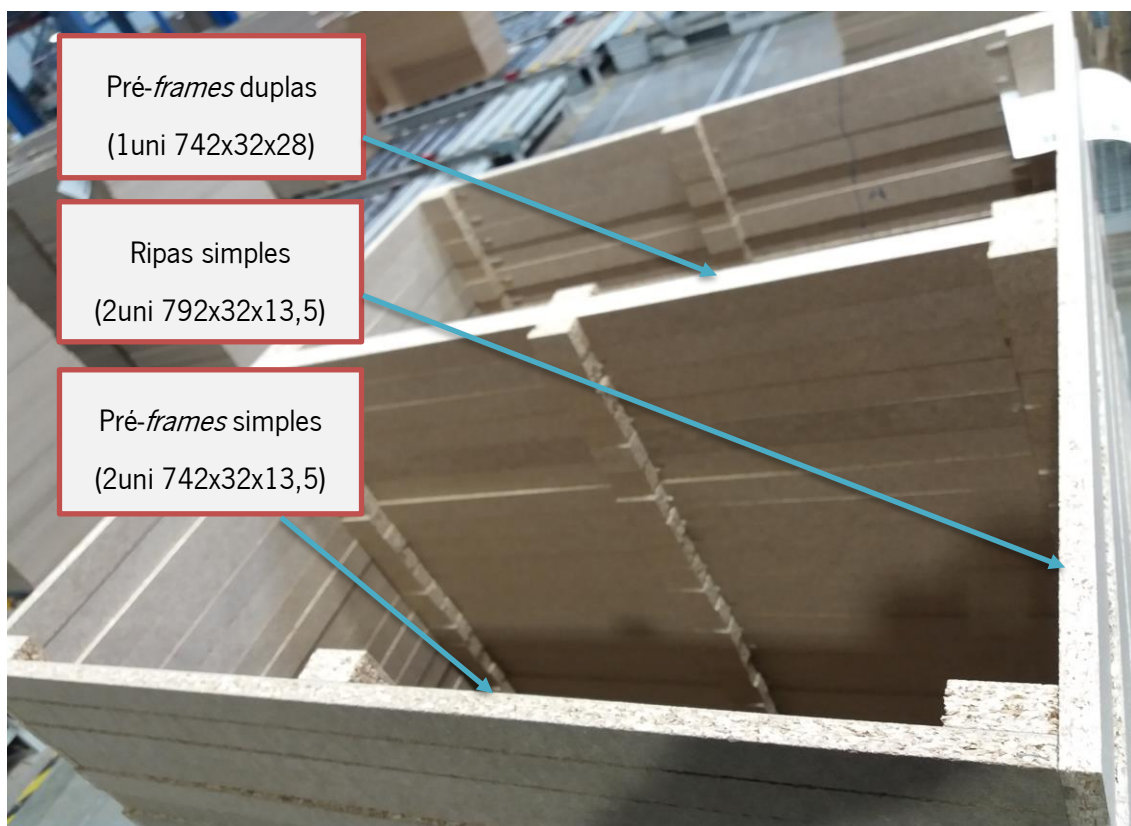


Figura 7 – Exemplo de uma pilha de frames após montagem final com a representação das diferentes pré-frames e ripas simples

Para melhor se perceber em que fase do processo produtivo se desenvolve esta montagem, foi desenvolvido um fluxograma (Figura 8). Representamos o *input* com a matéria-prima, fases de montagem de *pré-frames* e *frames*, bem como a paletização feita pelo robô colaborativo, antes feita por um trabalhador. Em seguida, a fase onde se agrupam todas as *frames* após montagem quer de forma manual ou automatizada, designada por cura.

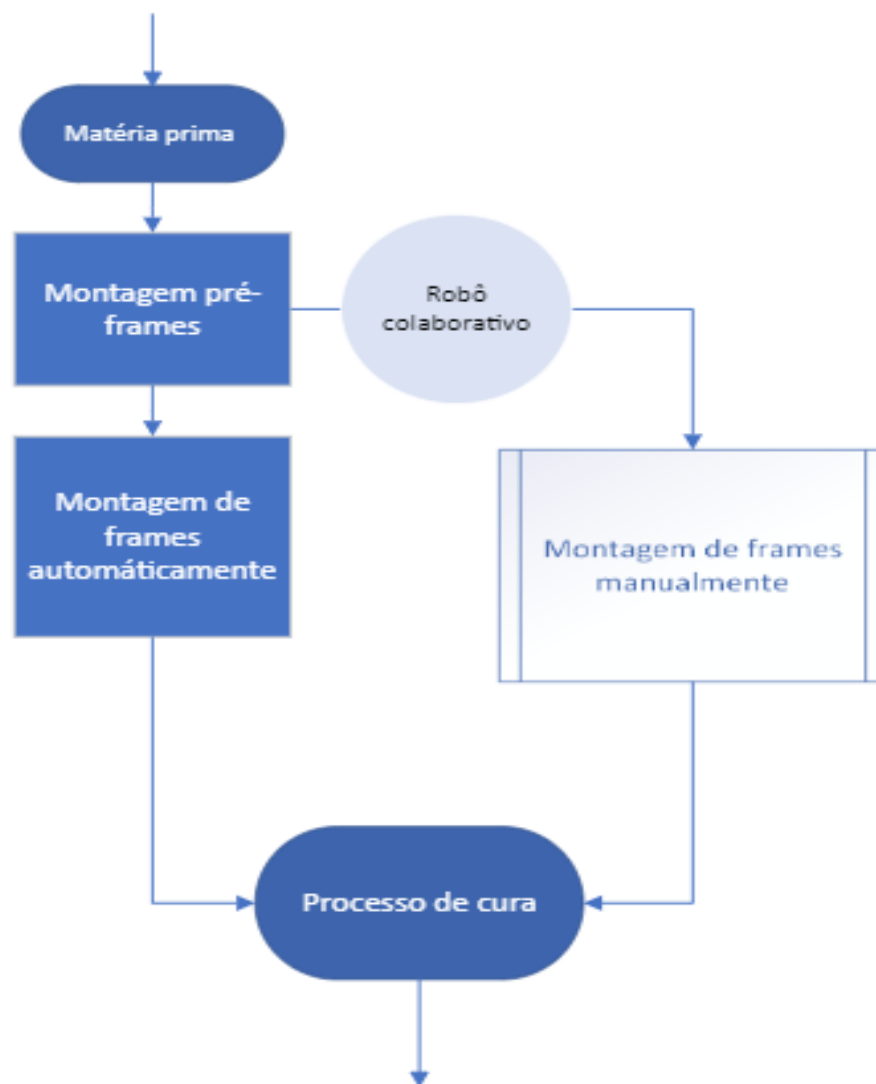


Figura 8 – Fluxograma produtivo

Podemos assim perceber todo o percurso feito desde o início da estação produtiva até ao final. Numa primeira fase é necessário abastecer todas as braços da estação produtiva, com os respetivos produtos para produção de pré-frames. Após a produção de pré-frames, as que são produzidas no braço 1 são recolhidas e paletizadas pelo robô colaborativo. Quando a paleta estiver completa, o robô notifica o trabalhador através da aplicação mobile, que é necessário remover aquela paleta e colocar uma vazia. Entretanto usa um *buffer* intermédio criado propositadamente para não interromper a recolha de pré-frames, evitando assim que a produção do braço 1 seja interrompida. Após o trabalhador realizar a substituição da paleta, através da aplicação mobile, assinala paleta substituída. A partir desse momento, o robô retoma a paletização deixando de usar

o *buffer* intermédio para colação das pré-frames. Nessa altura de forma sincronizada com produção de pré-frames saídas do braço 1 irá recolhendo também pré-frames acumuladas no *buffer* intermédio enquanto decorreu a substituição da paleta, até ficar novamente livre para situações futuras. Essas paletes serão então levadas para a área de montagem de *frames* manualmente. Após essa montagem seguem para uma zona de secagem das colas usadas na montagem das frames, denominada como processo de cura. As restantes pré-frames, são produzidas nos restantes braços 2 e 3, seguem para a Master-frame, onde a montagem é feita de forma automática. Após essa montagem são armazenadas juntamente com as produzidas manualmente no processo de cura.

Os subprodutos que são usados para compor as *frames* (Figura 9, 10 e 11), descritos a seguir, são paletizados e encaminhados para a zona de montagem final.



Figura 9 – Ripas simples

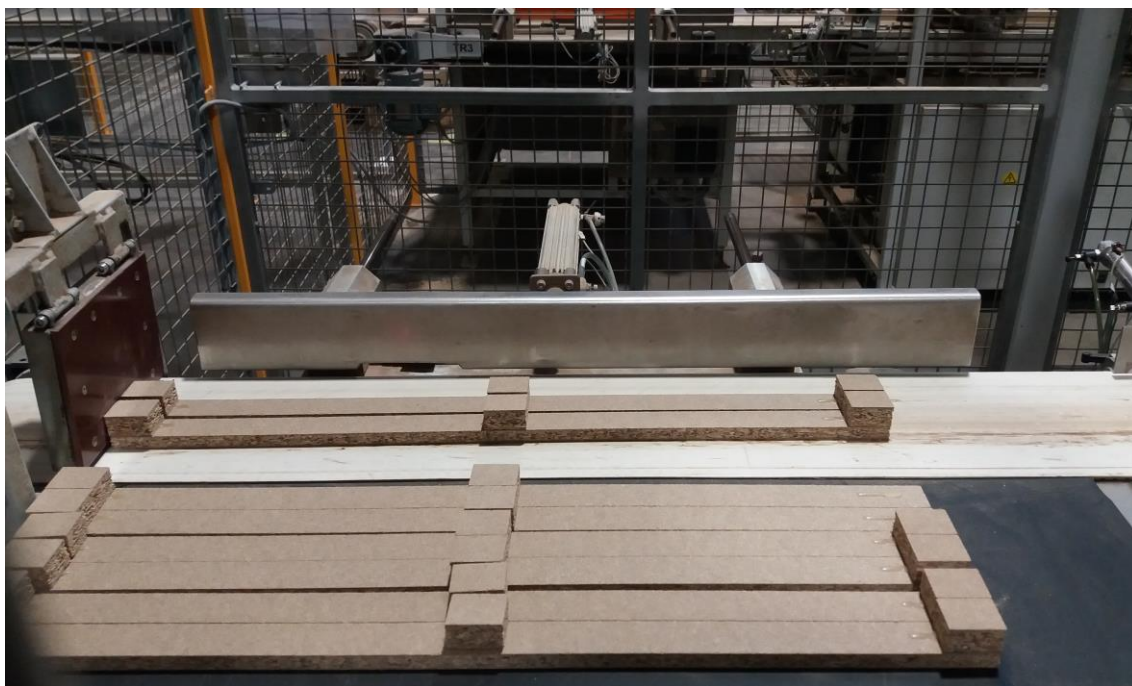


Figura 10 – Pré-frames simples



Figura 11 – Pré-frames duplas

3.2 Matéria-prima

Para a produção de pré-frames, é necessário matéria-prima, essa matéria-prima é previamente preparada em estações de trabalho anteriores a esta. Para esta estação produtiva são enviadas ripas simples, cubos e cola. A cola aqui usada nesta montagem é de fornecimento externo (Figura 9, 12 e 13).



Figura 12 – Cubos usados para produzir pré-frames simples e pré-frames duplas



Figura 13 – Cola usada para unir as partes na montagem das pré-frames e frames

Esta matéria-prima pertence à gama de produtos semiacabados utilizados na montagem de pré-frames. Estes componentes são utilizados na produção de pré-frames, simples e duplas.

3.3 Processo produtivo

A Zona onde é realizado este estudo, está situada após o processo de corte das placas de HDF de grandes dimensões (Figura 14).

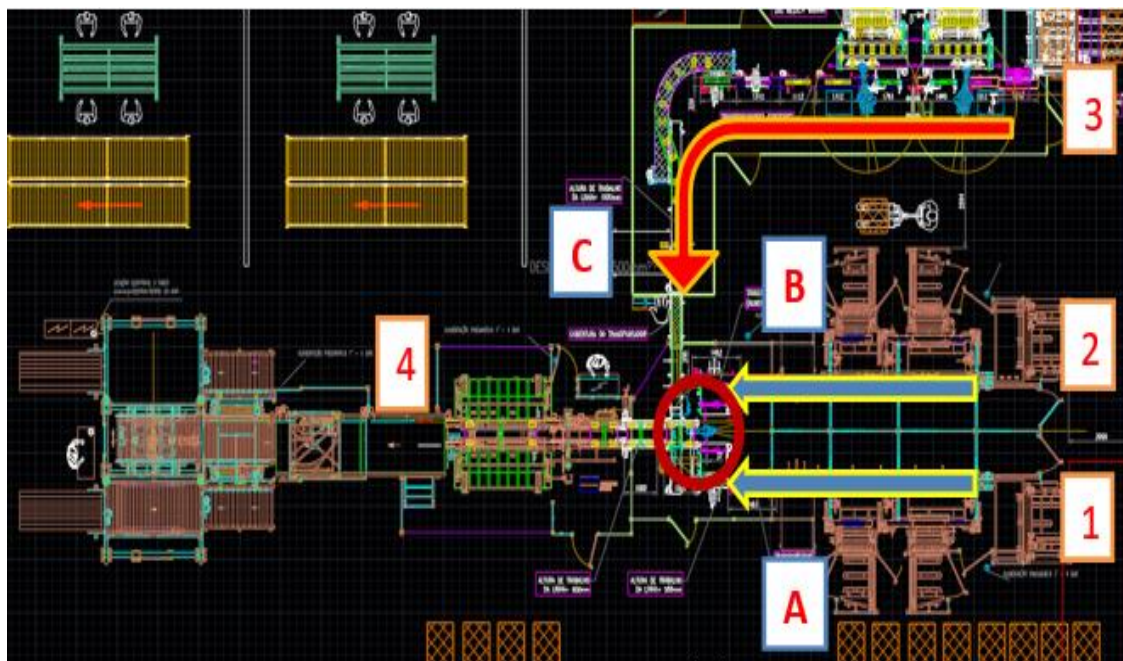


Figura 14 – Layout da unidade produtiva alvo deste projeto

A matéria-prima transformada na zona de corte é usada para alimentar diferentes áreas produtivas dentro da mesma unidade industrial. Neste sistema produtivo, a matéria-prima é armazenada perto das zonas de admissão, representadas na (Figura 14) pelos números 1, 2, 3 e 4.

A matéria-prima que chega à zona de pré-*Master frame* são cubos, ripas simples e ripas duplas, que mostramos nos tópicos anteriores ver (Figura 9, 12). Esta matéria-prima servirá para alimentar a pré-*Master frame*, que é o nome dado à zona dos braços 1, 2 e 3 (Figura 14). Aqui será feita a montagem de pré-*frames* simples com ripas simples, cola e cubos e pré-*frames* duplas com ripas duplas. A cola e cubos usados nesta montagem, são iguais para as duas pré-*frames*.

Atualmente estão a ser produzidos pré-*frames* simples no braço 2 e pré-*frames* duplas no braço 3. Toda a produção de pré-*frames* destes dois braços segue para *Master-frame*, braço 4, onde serão montadas *frames* de forma automatizada. Será também alimentado a *Master-frame* situada

no braço 4, com ripas simples (Figura 15). Esta braço trabalha só com a supervisão de um trabalhador.



Figura 15 – Ripas simples consumidas na Master Frame

Já as pré-frames produzidas no braço 1, serão todas recolhidas pelo robô colaborativo (Figura 16), para num posto de trabalho adjacente ser realizada a montagem manual. Este ponto de recolha está representado na (Figura 14) pela letra **A**. As letras **B** e **C** também representadas na (Figura 14), correspondem a pontos de recolha dos braços 2 e 3.



Figura 16 – Robô colaborativo que foi instalado

Neste momento a recolha nesses pontos ainda é realizada de forma manual como anteriormente no ponto **A**, agora feita pelo robô colaborativo implementado.

3.4 Estado inicial da unidade de produção

Esta estação produtiva não tinha robótica colaborativa implementada, todas as tarefas fora dos braços de produção eram realizadas manualmente pelos trabalhadores. Essas tarefas eram realizadas de forma programada ou mediante as necessidades que fossem surgindo.

Algumas tarefas não estavam planeadas, como por exemplo, a limpeza necessária, sendo uma causa de pequenas avarias nos braços de produção. Estas avarias causam uma grande perturbação no fluxo produtivo, algo que é recorrente. A estação de produção em que o estudo se centra, caracterizava-se por ser um local de trabalho manual com elevada sobrecarga muscular e fadiga dos trabalhadores. Os objetivos produtivos lançados diariamente, não tinham em conta as sucessivas paragens devido aos problemas técnicos e de qualidade recorrentes. Retrabalho era um deles, pois devido a defeito de colagem e erros de orientação na colagem dos cubos, obrigava a um esforço acrescido por parte dos trabalhadores. Para ser realizada a identificação dos

problemas e correção. Alguns problemas técnicos só trabalhadores experientes eram capazes de resolver ou contornar, sem recorrer aos serviços especializados das equipas de manutenção.

Esta era a forma usada para minimizar o atraso na produção e assim ser possível alcançar os objetivos lançados para o dia ou turno. Para além destes fatores, ainda se juntavam algum absentismo por parte dos trabalhadores, confirmado junto das chefias.

3.5 Problemas identificados

Um dos problemas identificados foi que o tempo para abastecer os braços de produção eram muito apertados. O fator tempo obrigava os trabalhadores a realizarem as tarefas de forma acelerada, influenciando os níveis de stress nos trabalhadores. Estas situações, como abastecimentos de forma mais apressada, resultavam normalmente em embates noutras paletes ou em equipamentos. Alguns desses problemas/incidentes provocavam paragem dos braços. Como por exemplo:

- 1) Queda das paletes de matéria-prima para abastecer os braços;
- 2) Paletes mal posicionadas quando inseridas para posterior admissão automática dos braços;
- 3) Colagens defeituosas;
- 4) Enganos nos locais a abastecer;
- 5) Enganos nas matérias-primas;
- 6) Trabalhadores que se magoam.

4. DESCRIÇÃO DAS ALTERAÇÕES IMPLEMENTADAS

As alterações que foram implementadas nesta unidade produtiva, refletiram-se em diferentes áreas. A principal e a mais impactante alteração no posto de trabalho em concreto, foi a implementação de um sistema robótico colaborativo, que permitirá a interação Homem-robô, sem barreiras de proteção.

Sendo esse sistema robótico constituído por um manipulador *Universal Robots*, versão UR10 e-series, que faz a recolha e paletização das pré-frames como representado em figuras anteriores. Também faz parte um MiR200 de navegação autónoma, da *Mobil Industrial Robots* (MIR) (Figura 17), que faz a movimentação desse manipulador para o posto de trabalho e entre postos de trabalho quando necessário.



Figura 17 - Sistema de navegação MiR200 (mobile-industrial-robots, 2023)

Ao nível do posto de trabalho destinado à recolha de pré frames, este é agora substituído de forma integral pelo referido sistema colaborativo. Permitindo que o trabalhador possa desempenhar tarefas em outros locais do braço de produção em simultâneo. Como consequência da implementação do sistema robótico, foi possibilitado aos trabalhadores adquirirem formação e conhecimento especializado em áreas que até ao momento estariam fora do seu domínio, promovendo assim níveis de conforto, satisfação e produtividade superiores.

Após essa implementação também se verificaram alterações ao nível da qualidade na deteção de defeitos pelo sistema. Estas alterações foram identificadas e analisadas de forma separada, para melhor se perceber o seu real impacto.

4.1 Alteração do posto de trabalho

Com a implementação do robô colaborativo, a disposição no espaço do posto de trabalho e área envolvente, veio impor algumas alterações. O trabalhador que estaria destacado neste posto de trabalho, estava obrigado a uma série de movimentos repetitivos que provocavam bastante fadiga ao trabalhador. Com a implementação do sistema colaborativo o posto de trabalho sofreu uma alteração do *layout* (Figura 18).



Figura 18 - Configuração do posto de trabalho atualmente

O robô trabalhará sempre numa posição estacionária pré-definida, passando a ter um lugar certo. Esse espaço passou a obedecer a um novo *layout*, mas com pouco impacto nas movimentações necessárias na zona envolvente. A área envolvente terá de ser rigorosamente contornada, pois o robô não opera fora desta nova configuração. Esta restrição torna todas as operações realizadas naquele posto de trabalho, muito previsíveis e fáceis de enquadrar na zona de trabalho. Com esta implementação o posto de trabalho, passou de um sistema *push*, que quer dizer produção empurrada gerando excesso de produto nos braços de produção e obrigando a que braço tenha de condicionar o seu fluxo produtivo, para um sistema *pull*, que quer dizer produção puxada. Assim desta forma deixa de haver excesso de produto no braço e mantendo um fluxo produtivo constante, o que é uma excelente melhoria. Para além disso, para auxiliar a identificação de defeitos nas pré-frames foi instalado um sistema de visão.

4.2 Alteração das funções do trabalhador

A implementação do sistema colaborativo na estação da pré-Master frame, veio trazer novas formas de organização dos trabalhadores. O trabalhador alocado a este posto de trabalho passou a desempenhar outras tarefas na mesma estação produtiva, incluindo a monitorização do equipamento, uma tarefa que não existia até ser implementado o sistema colaborativo. O trabalhador passou a estar mais disponível para responder aos eventos previstos ou imprevistos durante a produção, como a eficiente manutenção dos equipamentos e a antecipação de problemas de avaria. Esses eventos como avarias técnicas ou alimentação da pré-Master frame com matéria-prima, já foram referidos anteriormente. Eliminou-se a necessidade da marcação ou controlo de qualidade das pré-frames pelo operador, pois estas são recolhidas pelo robô colaborativo que faz a deteção de defeitos e contagem de peças recolhidas.

4.3 Alteração dos tempos na recolha e paletização de pré-frames

As atividades a observar para estudo dos tempos neste posto de trabalho, foram a recolha de pré-frames e sua paletização (Figura 19), operações que antes da implementação do robô colaborativo eram realizadas por um trabalhador.



Figura 19 - Recolha de pré-frames

As tarefas selecionadas para serem observadas e medidas, foram aquelas que conseguimos medir com o funcionamento do robô. Também se revelou igualmente importante para comparar com os tempos estimados em simulação antes da implementação do robô colaborativo. As tarefas selecionadas para esta comparação foram a de recolha e paletização das *pré-frames*. Os tempos ciclo manual, foram obtidos através da escolha de operações específicas, sendo elas, recolha e paletização como referido anteriormente. Esses tempos já medidos em um trabalho anterior (Peixoto, 2022), serviram para se perceber qual o tempo médio para realização das operações. Estes são os tempos que podem ser comparadas entre a realização manual ou realização feita pelo robô colaborativo. Tempos ciclo simulados foram obtidos com o auxílio do *software* de simulação *CoppeliaSim* também realizado no mesmo estudo anterior, sendo igualmente medido a tarefa de recolha de *pré-frames* e sua paletização. O tempo médio obtido é representado a seguir ver Tabela 3.

Tabela 3 - Tempos observados em estudo anterior (Peixoto, 2022)

Tempo médio em segundos		
	Manualmente	Simulação
Braço 1	5,56	5,80

Para a obtenção do tempo médio real, foi realizado um estudo dos tempos do robô colaborativo em funcionamento pleno (Anexo I). A recolha dos dados foi realizada com recurso à técnica de observação direta intensiva de cronometragem, apropriada para tarefas de ciclos curtos e repetitivos. Para satisfazer o nível de confiança de 90%, foi realizado um estudo que permitiu obter um tempo médio, de um dado número de observações garantindo a precisão necessária que pretendemos para os nossos dados, servindo assim para que se determine o número mínimo de observações a efetuar para se obter uma amostra representativa. O número de recolhas consideradas suficientes, foi determinado através da Equação 1.

Equação 1 - Para determinar a dimensão da amostra (adaptado) (Costa & Arezes, 2016)

$$N' = \left(\frac{Z * s}{m * \epsilon} \right)^2$$

De forma a certificar que o número de vezes observado, era o suficiente, face à precisão pretendida, determinou-se o valor N'.

Assumiu-se:

- 1) Um nível de confiança de 90%, que corresponde a um valor Z=1,29 para uma distribuição normal;
- 2) Um erro (ϵ) de 0,05 e o valor médio do desvio padrão;
- 3) Valor médio dos tempos dos elementos (m);
- 4) Desvio padrão (s).

Os tempos obtidos do sistema robótico colaborativo em pleno funcionamento, poderão ser analisados e comparados com os resultados obtidos em estudo anterior ver Tabela 4.

Tabela 4 - Tempos verificados anteriormente e agora

Tempo médio em segundos			
	Manualmente	Simulação	Atual
Braço 1	5,56	5,8	4,48

Após quatro séries para determinação do número mínimo de observações a serem realizadas, para um nível de confiança de 90%, verificou-se que seriam necessárias 65 Observações para se obter um $N' \leq N$ ver Tabela 5.

Tabela 5 - Número de observações necessárias

Média	Desvio Padrão	N'
4,48	1,34	60

Para melhor se entender a diferença entre o antes e o agora, foi feita a diferença percentual entre as diferentes formas de realizar as mesmas operações. Constata-se assim uma visualização percentual mais intuitiva e clara da variação de tempos necessários para a realização das tarefas de recolha e paletização das pré-frames ver Tabela 6.

Tabela 6 - Variação de tempos diferentes na realização das mesmas operações

Variação %	
Manualmente vs Simulação	-4,14
Manualmente vs Atual	24,11

Comparando com o tempo estimado em simulação, verifica-se que este apresenta melhor desempenho que inicialmente previsto. Inicialmente foi previsto que o desempenho do robô seria inferior ao do trabalhador na realização das mesmas tarefas, mas após a realização do estudo dos tempos percebeu-se que não. Percebeu-se que supera o desempenho do trabalhador.

4.4 Alteração do nível de produtividade

O nível produtivo não sofreu oscilações, as tarefas feitas neste posto de trabalho continuam a ser as mesmas (recolha e paletização). Estas alterações neste posto de trabalho, vieram libertar o trabalhador dos tempos apertados que tinha disponíveis para abastecer a estação pré-*Master frame* quando necessário. Uma das alterações verificada foi, a maior disponibilidade para limpezas da pré-*Master frame*, que influenciará um melhor funcionamento da estação produtiva. A libertação do trabalhador veio reduzir a velocidade com que eram realizadas essas tarefas e as de abastecimento da estação de pré-frames, reduzindo drasticamente as hipóteses de ocorrer paragens não planeadas, enganos, incidentes ou mesmo acidentes de trabalho.

4.5 Estrutura do questionário sobre usabilidade e percepções sobre robótica

Foi realizado um questionário de modo a conhecer a percepção sobre a interação dos trabalhadores com a aplicação mobile, bem como para perceber as percepções dos trabalhadores sobre robótica industrial e colaborativa (Anexo II). Apresenta-se a seguir a estrutura do questionário. Como principal objetivo pretende-se identificar e perceber quais as alterações de percepção por parte dos trabalhadores. O questionário foi dividido em 7 secções: (A) Dados Pessoais; (B) Informações; (C) Percepção sobre usabilidade do sistema; (D) Principais requisitos à implementação de um Robô Colaborativo; (E) Conhecimento Gerais sobre a Robótica industrial e o seu Potencial; (F) Robótica Colaborativa *vs* Robótica industrial; (G) Principais Requisitos à implementação de um Robô Colaborativo.

Na secção A, para caracterização da amostra faz-se a recolha de informações relativas à idade, género, escolaridade e tempo de trabalho na empresa. Na secção B, tenta-se perceber se tem smartphone, se sim que sistema operativo usa e há quanto tempo. Na secção C, percepção sobre a usabilidade do sistema foram colocadas dez questões, relacionadas com a usabilidade de uma

aplicação mobile. Esta aplicação foi desenvolvida pelo DTx Colab. Os trabalhadores podem assim interagir de forma mais livre e autónoma com o robô colaborativo. Tornando esta integração mais dinâmica e intuitiva. As afirmações que compõem esta parte do questionário foram baseadas no *System Usability Scale* (SUS) (Brooke, 2020), são as seguintes:

- 1) Eu acho que gostaria de usar esse sistema com frequência;
- 2) Eu acho o sistema desnecessariamente complexo;
- 3) Eu achei o sistema fácil de usar;
- 4) Eu acho que precisaria de ajuda de uma pessoa com conhecimentos técnicos para usar o sistema;
- 5) Eu acho que as várias funções do sistema estão muito bem integradas;
- 6) Eu acho que o sistema apresenta muita inconsistência;
- 7) Eu imagino que as pessoas aprenderão como usar esse sistema rapidamente;
- 8) Eu achei o sistema atrapalhado de usar;
- 9) Eu senti-me confiante ao usar o sistema;
- 10) Eu precisei aprender várias coisas antes de conseguir usar o sistema.

A avaliação feita recorrendo a uma escala *Likert*, seguiu a seguinte escala: não tem opinião, discordar totalmente, discordar, ser neutro, concordar ou concordar totalmente com as afirmações.

Na secção D, percepção sobre design e interação com a aplicação, foram aplicadas cinco questões de resposta aberta, nomeadamente:

- 1) Encontrou dificuldades em realização da tarefa;
- 2) A app está clara para seu propósito;
- 3) Os botões/campos têm uma dimensão correta para si;
- 4) É claro o feedback dos botões;
- 5) O que achou mais positivo e mais negativo no uso da app.

Na secção E do questionário, recolheu-se conhecimentos gerais sobre a robótica industrial e o seu potencial. Nesta secção foram realizadas catorze questões, recorrendo também a uma escala *Likert*, já usada anteriormente na secção C. As afirmações classificadas foram as seguintes:

- 1) Sinto que os robôs colocam em risco o emprego das pessoas;
- 2) Os robôs conseguem trabalhar em conjunto c/os trabalhadores da empresa numa mesma tarefa;
- 3) A introdução dos robôs na fábrica pode melhorar as minhas condições de trabalho;
- 4) A introdução dos robôs vai aumentar a monotonia dos trabalhos;
- 5) Sinto-me inseguro/a na presença de um robô;
- 6) Sinto-me ansioso na presença de um robô;
- 7) Os robôs são uma mais-valia para a empresa e auxiliam o seu desenvolvimento;
- 8) A introdução dos robôs na fábrica vai tornar as minhas tarefas mais difíceis/exigentes;
- 9) A introdução dos robôs na fábrica é algo positivo;
- 10) Os robôs podem aumentar a qualidade dos produtos diminuindo/detetando defeitos;
- 11) Os robôs contribuem para o aumento da produtividade da empresa;
- 12) Os robôs podem causar ferimentos aos colaboradores da empresa;
- 13) Os robôs podem atenuar o risco de lesões músculo-esqueléticas relacionadas com o trabalho;
- 14) Sinto-me mais seguro se o robô estiver rodeado por uma vedação.

Das catorze afirmações, sete de teor positivo e sete de teor negativo, foram apresentadas de forma aleatória, de modo a proporcionar um questionário de cariz neutro (Oppenheim, 1992). Os trabalhadores fizeram a avaliação recorrendo a uma escala de *Likert*, onde irão encontrar as mesmas opções como apresentado na secção C. Nesta secção iremos perceber melhor os principais receios dos trabalhadores em relação à robótica. O que consideram mais relevante e positivo e se têm noções gerais sobre o tema em si.

Na secção F, robótica colaborativa *vs* robótica industrial. Pretende-se perceber qual a percepção dos trabalhadores sobre sete característica chave na robótica. Para isso teve-se em conta a flexibilidade, velocidade, produtividade, segurança, aceitação, menor custo de aquisição, capacidade de colaboração. Para cada uma destas características, trabalhador escolheria entre robótica industrial e robótica colaborativa qual o que no seu entender seria mais capaz. Podendo ainda assinalar a opção sem opinião.

Na secção G, principais requisitos à implementação de um robô Colaborativo. Pretende-se perceber qual a importância atribuída pelos trabalhadores a sete requisitos; Segurança, flexibilidade, eficiência, formação, conhecimento técnico dos colaboradores, comunicação robô/trabalhador e autonomia. Nesta secção os trabalhadores respondem usando uma escala *Likert*, consoante achem o requisito muito ou pouco importante, pouco ou nada e a opção sem opinião.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados encontrados após a implementação do robô colaborativo, melhoraram de forma generalizada todo o sistema produtivo. Para isso, compara-se também os resultados obtidos num estudo anterior desenvolvido na fase de concepção deste sistema colaborativo (Peixoto, 2022), consultar Anexo III.

5.1 Trabalhadores com mais formação e autonomia

Após implementação do robô colaborativo, foi necessário dar formação aos trabalhadores. Essa formação dada aos trabalhadores, contribuiu para compreenderem melhor o funcionamento da interface da aplicação *mobile* desenvolvida e das ações realizadas pelo robô. Esta formação incluiu um elemento de cada turno de trabalho, um trabalhador da manutenção da fábrica e um responsável pela organização daquele posto de trabalho. Dividiu-se em duas partes, em primeiro lugar foi feita uma apresentação em sala, onde foi apresentado a interface da aplicação *mobile* e suas funções. Depois da apresentação, foi aberto um espaço para os trabalhadores colocarem perguntas e dúvidas. Após o esclarecimento de dúvidas em sala, foi realizada uma outra formação prática no posto de trabalho, com a interação do robô, através da aplicação *mobile*. Onde os trabalhadores puderam ver e testar todas as funcionalidades da aplicação bem como tirar dúvidas junto da equipa multidisciplinar envolvida neste projeto. No fim dessa interação, os participantes (como mencionado um total de quatro trabalhadores) responderam ao questionário. Na Tabela 7 pode-se observar os dados pessoais recolhidos.

Tabela 7 - Resultados da secção A do questionário realizado

A-Dados Pessoais					
1	Idade (anos)	25	27	55	30
2	Género	Masculino	Masculino	Feminino	Masculino
3	Escolaridade	Ensino secundário	Ensino Secundário	Ensino Básico	Licenciatura
4	Antiguidade (anos)	1	7	14	1

Foi possível perceber que a amostra é maioritariamente constituída por trabalhadores do género masculino, a média de idades na ordem dos 34,25 anos, com uma escolaridade de 50% com o ensino secundário, e um tempo de trabalho na empresa médio de 5,75 anos. Na Tabela 8 encontram-se informações relativas ao contacto já preexistente por parte dos trabalhadores em relação a um *smartphone* (recolhidas através das questões da Secção B do questionário).

Tabela 8 - Resultados da secção B do questionário realizado

B - Informações					
5	Tem <i>smartphone</i> :	Sim	Sim	Não	Sim
6	Se sim, qual sistema operativo:	Android	IOS	-	IOS
7	Há quanto tempo usa <i>smartphone</i> :	>1ano	>1ano	-	>1ano

Verifica-se assim que 75% dos inquiridos já tinha experiência na interação com um *smartphone*, esses 75% corresponde a três trabalhadores, sendo que apenas um trabalhador ainda não tinha tido contacto com um *smartphone*.

Na secção C, relativa à percepção dos trabalhadores sobre a usabilidade do sistema ver Tabela 9.

Tabela 9 - Resultados da secção C do questionário realizado, com distribuição do número de respostas por categoria

C-Percepção sobre a usabilidade do sistema							
		Sem opinião	Discordo completamente	Discordo	Neutro	Concordo	Concordo plenamente
1	Eu acho que gostaria a de usar esse sistema com frequência					1	3
2	Eu acho o sistema desnecessariamente complexo		1	1		2	
3	Eu achei o sistema fácil de usar				1	1	2
4	Eu acho que precisaria de ajuda de uma pessoa com conhecimentos técnicos para usar o sistema			2		2	
5	Eu acho que as várias funções do sistema estão muito bem integradas			1		1	2
6	Eu acho que o sistema apresenta muita inconsistência		1	1		2	
7	Eu imagino que as pessoas aprenderão como usar esse sistema rapidamente			1		1	2
8	Eu achei o sistema atrapalhado de usar		1	2	1		
9	Eu me senti confiante ao usar o sistema				1	1	2
10	Eu precisei aprender várias coisas antes de conseguir usar o sistema		1	2	1		

Foi fácil perceber que os trabalhadores estavam de acordo com a facilidade de uso da aplicação e a sua utilidade, bem como o sentimento de confiança ao interagir com a aplicação. Em relação as respostas de discordância total ou parcial, verificam-se essa opinião nas questões que afirmam não ser uma aplicação fácil de usar, que não é intuitiva ou até que gera confusão aos trabalhadores a interagirem com ela.

Na secção D, foi uma secção relativa a questões de resposta aberta, mas que não foi além de respostas como sim e não. Levando-nos a concluir que os trabalhadores questionados ou concordam ou não concordam com o teor das questões. Avaliando as respostas da Tabela 10, percebemos que a opinião relativa a esta secção é 100% positiva.

Tabela 10 - Secção D do questionário realizado

D-Percepção sobre design e interação com a aplicação					
1	Encontrou dificuldades em realização da tarefa?	Não	Não	Não	Não
2	A app está clara para seu propósito?	Sim	Sim	Sim	Sim
3	Os Botões/campos têm uma dimensão correta para si?	Sim	Sim	Sim	Sim
4	É claro o feedback dos botões?	Sim	Sim	Sim	Sim
5	O que achou mais positivo e o mais negativo no uso da app?	Sim	Sim	Sim	Sim

Através da secção E do questionário, foram recolhidas as percepções dos trabalhadores sobre a robótica industrial e o seu potencial ver Tabela 11. Na tabela as afirmações de cariz positivo estão assinaladas a verde e as de cariz negativo a amarelo.

5.2 Percepção atual dos trabalhadores sobre robótica colaborativa

Tabela 11 - Resultados da secção E do questionário realizado e distribuição das respostas ao longo das categorias

E - Conhecimento Gerais sobre a Robótica industrial e o seu Potencial							
		Sem opinião	Discordo completamente	Discordo	Neutro	Concordo	Concordo plenamente
1	Sinto que os robôs colocam em risco o emprego das pessoas.		1	1	1	1	
2	Os robôs conseguem trabalhar em conjunto c/ os colaboradores da empresa numa mesma tarefa.				2	2	
3	A introdução dos robôs na fábrica pode melhorar as minhas condições de trabalho.					2	2
4	A introdução dos robôs vai aumentar a monotonia dos trabalhos.			1	2		1
5	Sinto-me inseguro/a na presença de um robô.		1	2	1		
6	Sinto-me ansioso/a na presença de um robô.		1	3			
7	Os robôs são uma mais-valia para a empresa e auxiliam o seu desenvolvimento.				1	1	2
8	A introdução dos robôs na fábrica vai tornar as minhas tarefas mais difíceis/exigentes.	1		2	1		
9	A introdução dos robôs na fábrica é algo positivo.					4	
10	Os robôs podem aumentar a qualidade dos produtos diminuindo/detetando defeitos.			1		3	1
11	Os robôs contribuem para o aumento da produtividade da empresa.				1	1	2
12	Os robôs podem causar ferimentos aos colaboradores da empresa.					4	
13	Os robôs podem atenuar o risco de lesões músculo-esqueléticas relacionadas com o trabalho.					3	1
14	Sinto-me mais seguro se o robô estiver rodeado por uma vedação.			1		3	

De um modo geral podemos verificar que os trabalhadores têm opiniões variadas, que vão desde sentirem-se confortáveis em trabalhar em conjunto com robôs industriais a sinto-me inseguro na

presença de um robô. Ou ainda, os robôs são uma mais-valia para empresa, mas ao mesmo tempo irá aumentar a monotonia dos trabalhos realizados.

Na Secção F ver Tabela 12, foi possível perceber que não existe muito conhecimento junto dos trabalhadores sobre as diferenças entre a robótica colaborativa e a robótica industrial. Podendo ser um indício de que sejam necessárias mais ações de sensibilização por parte da empresa aos trabalhadores, relacionado com esta temática.

Tabela 12 - Resultados da secção F do questionário realizado e distribuição das respostas ao longo das categorias

F-Robótica Colaborativa vs Robótica industrial				
		Robótica industrial	Robótica colaborativa	sem opinião
1	Flexibilidade	1	2	1
2	Velocidade	3		1
3	Produtividade	3		1
4	Segurança	1	3	
5	Aceitação		1	3
6	Menor Custo de aquisição		1	3
7	Capacidade de colaboração		3	1

Aqui podemos observar que a percepção dos trabalhadores, é de que, a robótica industrial opera com mais velocidade e é mais produtiva. Já em relação à flexibilidade, segurança ou até capacidade de interação, acham que a robótica colaborativa é melhor nestes aspetos. Em relação à aceitação ou custo de aquisição, a maior parte dos inquiridos não tem uma opinião formada.

Relativamente à secção G, esta está relacionada com os principais requisitos à implementação de um robô colaborativo, existe uma atribuição de importância aos requisitos de implementação, bastante elevada. Sendo os requisitos mais valorizados pelos trabalhadores relacionado com a implementação de um robô colaborativo, os relacionados com a segurança, a flexibilidade, a eficiência e a formação obtida ver Tabela 13.

Tabela 13 - Resultados da secção G do questionário realizado e distribuição das respostas ao longo das categorias

G - Principais Requisitos à implementação de um Robô Colaborativo							
		Sem opinião	Muito pouco importante	Pouco importante	Indiferente	Importante	Muito importante
1	Segurança					1	3
2	Flexibilidade			1		3	
3	Eficiência					1	3
4	Formação				1	1	2
5	Conhecimento Técnico dos Colaboradores					3	1
6	Comunicação Robô / Colaborador					3	1
7	Autonomia					3	1

Através dos resultados obtidos percebe-se que na secção E, em relação aos aspetos negativos, os trabalhadores mostram ter uma percepção otimista, discordando maioritariamente das questões de teor negativo. Com as questões relacionadas com o teor positivo, também demonstraram um otimismo generalizado respondendo maioritariamente como concordo nessas questões. Comparando com os resultados obtidos em estudo anterior não houve um desvio na opinião dos trabalhadores, mantendo-se muito semelhantes as opiniões recolhidas neste inquérito.

Na secção seguinte, secção F, verifica-se que os trabalhadores tem um percepção clara, sobre vários aspetos relacionados com a Robótica Industrial vs Robótica colaborativa, como já referido anteriormente. O que contrasta com as opiniões dadas em inquérito anterior. Do questionário realizado em estudo anterior (Peixoto, 2022), foram dadas um grande número de respostas sem opinião, levando-nos a concluir que poderiam existir dúvidas em distinguir robótica industrial da robótica colaborativa. Apesar disso, relacionado com a segurança e a produtividade os trabalhadores acreditavam mais na robótica industrial. Verifica-se assim que relacionado com a produtividade mantem-se a mesma opinião, mas mudou em relação à segurança, concordando agora que a que a robótica colaborativa apresenta mais segurança.

Também na secção G, relacionado com os requisitos apresentados em inquérito. Os trabalhadores responderam, maioritariamente como importante e muito importante nas suas respostas. Sendo que particularmente todos os trabalhadores inquiridos deram opiniões semelhantes, em relação a

segurança eficiência e formação. Comparando com as respostas obtidas no questionário do estudo anterior, a maior diferença reflete-se principalmente na ausência de respostas como “Sem opinião” e “Muito pouco importante. Demonstrando assim atualmente, um conhecimento maior sobre os requisitos de um sistema robótico colaborativo.

5.3 Alterações no processo produtivo

Ao nível da organização da produção, passou a existir uma menor discrepância nos resultados planeados e nos obtidos. Agora todas as condicionantes como LMERT, paragens não previstas, absentismo ou outras, não influenciam tanto a execução do planeamento de produção. Quase todos os fatores nesse posto de trabalho que representavam e originavam discrepâncias no planeamento realizado para a produção de *frames*, foram praticamente anulados com a implementação deste robô. Para além disso o trabalhador passou a estar mais disponível para alimentar com ripas simples e cubos, toda a braço de montagem de pré-*frames* evitando muitas paragens com impacto significativo na produção final estimada.

Ao nível da produtividade, garante agora maior consistência na rapidez com que são recolhidas as pré-frames. O nível de produtividade não sofreu alterações, relativamente à implementação deste robô colaborativo. Libertou o trabalhador da realização de movimentos repetitivos de grande desgaste e causador de LMERT nos trabalhadores. Faz uma paletização de forma coordenada com a produção de pré-frames. Caso surjam paragens devido a pequenas falhas durante a sua operação, o trabalhador recebe uma notificação no smartphone indicando o tipo de falha. Previsivelmente serão falhas de rápida e fácil resolução.

Ao nível da qualidade, após o robô entrar em pleno funcionamento era expectável que a deteção de defeitos fosse quase perfeita. Mas devido à limitação do sistema de visão, verificou-se alguns tipos de defeitos que não eram detetados pelo sistema de visão como previsto inicialmente. Tinha sido previsto que detetaria a orientação dos cubos nas pré-frames e após várias repetições foi possível verificar que o sistema de visão não cobria essa necessidade. Um outro defeito que não está a detetar é a colocação dos cubos de forma descentrada dos pontos corretos, o que obriga a uma atenção por parte do trabalhador que estiver a monitorizar o trabalho deste robô.

Sendo que consegue identificar a ausência de cubos. Quando deteta essa falha, rejeita automaticamente essas pré-frames. Retomando assim a paletização e passando a operar mais

rápido, reduzindo rapidamente o número de peças em espera para serem recolhidas e paletizadas, evitando assim a paragem da braço produtiva de *pré-frames*.

A detecção de defeitos apesar de não ser perfeita, consegue detetar quase todos os defeitos, embora careça de melhorias.

Ao nível da segurança, foi possível ver a facilidade com que os trabalhadores interagiam com a interface da aplicação, aliado ao à-vontade de ver o robô a reagir as ordens dadas através da aplicação em pleno funcionamento. Para que a adaptação dos trabalhadores não ficasse só pela formação em sala ou interação com o robô através da aplicação, foi realizado um pequeno teste. Um teste de embate, forçando o robô a bater num colaborador como se de um acidente se tratasse. O trabalhador que participou na experiência, revelou-se surpreendido pela imediata imobilização do robô colaborativo. Aliado a isso, puderam ver a notificação recebida no smartphone, a avisar que parou por choque/embate. Todos os trabalhadores que ainda teriam dúvidas sobre se era seguro movimentar-se junto do robô colaborativo, com a formação acredita-se que se dissiparam essas dúvidas.

6. CONCLUSÕES

Os objetivos que foram estabelecidos para este projeto, foram os seguintes:

- 1) Melhorar as condições de trabalho reduzindo o risco de LMERT, através da implementação de um sistema robótico colaborativo;
- 2) Melhorar a produtividade (otimização dos processos), com estudo dos tempos e redução de tarefas sem valor acrescentado;
- 3) Avaliar o impacto da implementação do sistema com robótica colaborativa;
- 4) Minimizar o número de produtos não conformes.

Com a entrada em funcionamento do robô colaborativo, foi possível obter uma redução do risco LMERT. Pois todas as tarefas que davam origem a LMERT, são agora realizadas pelo robô colaborativo. O trabalhador obteve assim um ganho significativo na sua qualidade de vida ao deixar de realizar essas tarefas repetitivas. Esta implementação contribuiu para a modernização do posto de trabalho. Este é agora um posto de trabalho autónomo que permite a interação com os trabalhadores. Os trabalhadores aumentaram os seus conhecimentos e capacidades técnicas na área da robótica colaborativa, estando agora mais preparados para desafios futuros dentro desta área.

Em relação à melhoria produtiva com a otimização dos processos, verificou-se um aumento da capacidade produtiva. Esse aumento é justificado pelo facto de o robô colaborativo conseguir operar mais rápido que o fornecimento da estação produtiva. Fez-se um estudo de tempos de operação do sistema robótico, que nos permitiu perceber o ganho de tempo obtido. Esse estudo centrou-se em duas tarefas, que foram a recolha e a paletização das pré-frames, exatamente as mesmas tarefas que eram realizadas pelo trabalhador antes da implementação. Esse estudo veio mostrar que de um tempo de operação médio de um trabalhador era de 5,56 segundos na recolha e paletização de uma pré-*frame* e atualmente verifica-se um tempo médio das mesmas tarefas de 4,48 segundos. Desta forma verificamos uma redução significativa no tempo necessário para a realização das mesmas tarefas pelo robô colaborativo. Esta redução de tempo corresponde a um aumento da capacidade produtiva produtivo de pelo menos 24,11%.

Por último relacionado com a redução de produtos não conformes, verificou-se que alguns tipos de defeitos não eram detetados pelo sistema de visão implementado. Parte desses defeitos não estava previsto serem detetados pelo sistema que foi implementado. Assim o Sistema de detecção de defeitos necessita de sofrer adaptações com incremento de mais sensores para poder cobrir um maior número de diferentes defeitos a serem detetados. Para além disso, a limpeza dentro da estação produtiva deveria ser mais pormenorizada. Talvez se, passar a ser considerada uma tarefa tão importante como por exemplo alimentar a estação produtiva com matéria-prima, faça diferença. Pode parecer que tem uma importância menor, mas alguns defeitos encontrados nas pré-frames, poderão ter origem em pequenas acumulações de fragmentos em zonas específicas, dando origem a leituras incorretas ou interferir no posicionamento correto de alguns componentes. Fragmentos que eram facilmente identificáveis nas pré-frames que saiam da estação produtiva para serem recolhidas pelo robô. Também poderá ter influência na montagem de *frames* pela *Master-frame*, devido à acumulação de restos de cola em pontos específicos. Essas acumulações poderão estar a dar origem a pequenos desvios na colocação desse produto e originar peças com defeito.

Com este trabalho percebeu-se que os resultados alcançados, foram principalmente relacionados com a qualidade de vida dos trabalhadores após o robô ter entrado em funcionamento. Todas as tarefas repetitivas que geravam LMERT aos trabalhadores são agora realizadas pelo robô. Alguns problemas foram eliminados, como as regulares pausas devido a cansaço ou outras necessidades. A estação produtiva passou a ter um posto de trabalho mais modernizado, contribuindo para um melhor e maior desempenho produtivo. Encontrando-se agora mais preparada para responder às necessidades da constante evolução dos processos produtivos atuais e futuros.

Como trabalho futuro, fica recomendado um estudo ao tipo de defeito mais recorrente na montagem de *frames* pela *Master-Frame*. É um problema recorrente e com maior incidência nos meses de maior calor. Esse problema poderá estar relacionado com a ineficiência das colagens realizadas, com questões de limpeza ou outras afinações necessárias ao processo existente, para montagem final das frames. Merece uma atenção especial, pois poderá reduzir o retrabalho resultante desses defeitos e perdas completas no caso de não ser recuperável. Dessa forma seria possível obter uma redução de custos relacionados com o retrabalho. Evitaria perda de matéria-prima e ainda reduziria o stresse gerado nos trabalhadores para que detetem esses defeitos.

Defeitos esses que obrigam uma inspeção a 100% das peças produzidas. Tornando um processo pesado e dispendioso.

Estas são algumas sugestões para trabalhos futuros, que poderão revelar-se bastante pertinentes e contribuir para um maior e melhor desempenho desta estação produtiva.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arezes, P. M., Santos Baptista, J., Carneiro, P., Castelo, J., Nelson Costa, B., Duarte, J., Guedes, J. C., Rui, J., Melo, B., Sérgio, A., Gonçalo, M., & Editors, P. (2021). *Studies in Systems, Decision and Control 406 Occupational and Environmental Safety and Health III*. <https://link.springer.com/bookseries/13304>
- Baua – Federal Institute for Occupational Safety and Health. (2019). *Key Indicator Method for assessing and designing physical workloads during Manual Handling Operations KIM-MHO* (pp. 1–4). https://www.baua.de/EN/Topics/Work-design/Physical-workload/Key-indicator-method/pdf/KIM-MHO-Manual-Handling-Operations.pdf?__blob=publicationFile&v=3
- Breque, M., De Nul, L., & Petrides, A. (2021). Industry 5.0 - Towards a sustainable, human-centric and resilient European industry. *European Commission*.
- Brooke, J. (2020). SUS: A “Quick and Dirty” Usability Scale. *Usability Evaluation In Industry*, 207–212. <https://doi.org/10.1201/9781498710411-35>
- Cardoso, A., Colim, A., Bicho, E., Braga, A. C., Menozzi, M., & Arezes, P. (2021). Ergonomics and human factors as a requirement to implement safer collaborative robotic workstations: A literature review. *Safety*, 7(4). <https://doi.org/10.3390/safety7040071>
- Castelôa, L., Luís, S., Romeiro, T., & Oliveira, I. (2019). *PREVALÊNCIA DAS LESÕES MÚSCULO-ESQUELÉTICAS RELACIONADAS COM O TRABALHO DOS ENFERMEIROS: REVISÃO INTEGRATIVA*. 2(1), 63–74.
- Ciccarelli, M., Papetti, A., Scoccia, C., Menchi, G., Mostarda, L., Palmieri, G., & Germani, M. (2022). A system to improve the physical ergonomics in Human-Robot Collaboration. *Procedia Computer Science*, 200, 689–698. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.01.267>
- Colim, A., Faria, C., Braga, A. C., Sousa, N., Rocha, L., Carneiro, P., Costa, N., & Arezes, P. (2020). Towards an ergonomic assessment framework for industrial assembly workstations - A case study. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(9). <https://doi.org/10.3390/app10093048>
- Colim, A., Morgado, R., Dinis-Carvalho, J., & Sousa, N. (2021). An Empirical Study of the Work Conditions and Productive Performance After Collaborative Robotics Implementation in a Manufacturing Assembly Process. *FME Transactions*, 49(4), 859–866. <https://doi.org/10.5937/FME2104859C>
- Costa, L. F. T. G. da, & Arezes, P. M. F. M. (2016). *introdução ao estudo do TRABALHO*.

- Dinis-Carvalho, J., Guimaraes, L., Sousa, R. M., & Leao, C. P. (2019). Waste identification diagram and value stream mapping: A comparative analysis. *International Journal of Lean Six Sigma*, 10(3), 767–783. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-04-2017-0030>
- Durakovic, B., Demir, R., Abat, K., & Emek, C. (2018). Lean manufacturing: Trends and implementation issues. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*, 6(1), 130–139. <https://doi.org/10.21533/pen.v6i1.45>
- Erro-Garcés, A., & Alfaro-Tanco, J. A. (2020). Action Research as a Meta-Methodology in the Management Field. *International Journal of Qualitative Methods*, 19. <https://doi.org/10.1177/1609406920917489>
- Feldmann, F., Seitz, R., Kretschmer, V., Bednorz, N., & Ten Hompel, M. (2019). Ergonomic Evaluation of Body Postures in Order Picking Systems Using Motion Capturing. *Proceedings - 2019 Prognostics and System Health Management Conference, PHM-Paris 2019*, 204–209. <https://doi.org/10.1109/PHM-Paris.2019.00041>
- Felsberger, A., Qaiser, F. H., Choudhary, A., & Reiner, G. (2022). The impact of Industry 4.0 on the reconciliation of dynamic capabilities: evidence from the European manufacturing industries. *Production Planning and Control*, 33(2–3), 277–300. <https://doi.org/10.1080/09537287.2020.1810765>
- Holweg, M. (2007). The genealogy of lean production. *Journal of Operations Management*, 25(2), 420–437. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2006.04.001>
- Hughes, L., Dwivedi, Y. K., Rana, N. P., Williams, M. D., & Raghavan, V. (2022). Perspectives on the future of manufacturing within the Industry 4.0 era. *Production Planning and Control*, 33(2–3), 138–158. <https://doi.org/10.1080/09537287.2020.1810762>
- Jeevitha, T., & Ramya, L. (2018). Industry 1.0 to 4.0: the Evolution of Smart Factories. *APICS Magazine*.
- Kee, D. (2022). Systematic Comparison of OWAS, RULA, and REBA Based on a Literature Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(1). <https://doi.org/10.3390/ijerph19010595>
- Kehr, T. W., & Proctor, M. D. (2017). People Pillars: Re-structuring the Toyota Production System (TPS) House Based on Inadequacies Revealed During the Automotive Recall Crisis. *Quality and Reliability Engineering International*, 33(4), 921–930. <https://doi.org/10.1002/qre.2059>
- Klussmann, A., Liebers, F., Brandstädt, F., Schust, M., Serafin, P., Schäfer, A., Gebhardt, H., Hartmann, B., & Steinberg, U. (2017). Validation of newly developed and redesigned key indicator methods for

- assessment of different working conditions with physical workloads based on mixed-methods design: A study protocol. *BMJ Open*, 7(8). <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2016-015412>
- Lynn, M., & Corlett, N. (1993). RULA: A survey method for the investigation of work-related upper limb disorders. *Applied Ergonomics*, 24(2).
- Matheson, E., Minto, R., Zampieri, E. G. G., Faccio, M., & Rosati, G. (2019). Human-robot collaboration in manufacturing applications: A review. *Robotics*, 8(4). <https://doi.org/10.3390/robotics8040100>
- Mcatamney, L., & Nigel, E. (1993). *RULA: um método de pesquisa para o . investigação de distúrbios do membro superior relacionados ao mundo* (Vol. 24, Issue 2, pp. 91–99).
- Ohno, T. (1988). Toyota Production System Beyond Large -Scale Production Taiichi Ohno. *Production*, 1999(December), 1–155. https://books.google.it/books/about/Toyota_Production_System.html?id=7_-67SshOy8C&redir_esc=y
- Oppenheim, A. N. (1992). Designing Attitude Statements & Attitude Scaling. *Questionnaire Design, Interviewing and Attitude Measurement*.
- Oztemel, E., & Gursev, S. (2020). Literature review of Industry 4.0 and related technologies. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 31(1), 127–182. <https://doi.org/10.1007/s10845-018-1433-8>
- Peixoto, A. C. (2022). *Impacto da Implementação de um Robô Colaborativo nos Fatores Humanos e no Desempenho da Produção: Estudo de um Caso*. Universidade do Minho.
- Petit, A., Mairiaux, P., Desarmenien, A., Meyer, J. P., & Roquelaure, Y. (2016). French good practice guidelines for management of the risk of low back pain among workers exposed to manual material handling: Hierarchical strategy of risk assessment of work situations. *Work*, 53(4), 845–850. <https://doi.org/10.3233/WOR-162258>
- Robert, J. M., & Brangier, É. (2012). Prospective ergonomics: Origin, goal, and prospects. *Work*, 41(SUPPL.1), 5235–5242. <https://doi.org/10.3233/WOR-2012-0012-5235>
- Roblek, V., Meško, M., & Krapež, A. (2016). A Complex View of Industry 4.0. *SAGE Open*, 6(2). <https://doi.org/10.1177/2158244016653987>
- Rost, K. A., & Alvero, A. M. (2020). Participatory approaches to workplace safety management: bridging the gap between behavioral safety and participatory ergonomics. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 26(1), 194–203. <https://doi.org/10.1080/10803548.2018.1438221>
- Suryoputro, M. R., Wildani, K., & Sari, A. D. (2018). Analysis of manual material handling activity to

- increase work productivity (Case study: Manufacturing company). *MATEC Web of Conferences*, 154. <https://doi.org/10.1051/matecconf/201815401085>
- Villani, V., Pini, F., Leali, F., & Secchi, C. (2018). Survey on human–robot collaboration in industrial settings: Safety, intuitive interfaces and applications. *Mechatronics*, 55, 248–266. <https://doi.org/10.1016/j.mechatronics.2018.02.009>
- Yin, Y., Stecke, K. E., & Li, D. (2018). The evolution of production systems from Industry 2.0 through Industry 4.0. *International Journal of Production Research*, 56(1–2), 848–861. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1403664>

Anexo I – Estudo dos tempos do robô colaborativo em pleno funcionamento

Dados recolhidos com robô em funcionamento			
Ciclo	Alcançar Peças e colocar na palete		
	TO	FA	TN
1	4,09	100	4,09
2	4,96	100	4,96
3	4,21	100	4,21
4	5,05	100	5,05
5	4,43	100	4,43
6	4,82	100	4,82
7	3,71	100	3,71
8	2,56	100	2,56
9	7,9	100	7,9
10	4,3	100	4,3
11	3,54	100	3,54
12	4,12	100	4,12
13	2,9	100	2,9
14	4,16	100	4,16
15	5,05	100	5,05
16	4,29	100	4,29
17	4,77	100	4,77
18	3,51	100	3,51
19	5,27	100	5,27
20	2,94	100	2,94
21	6,52	100	6,52
22	3,12	100	3,12
23	6,95	100	6,95
24	5,41	100	5,41
25	3,19	100	3,19
26	2,9	100	2,9

27	5,93	100	5,93
28	3,97	100	3,97
29	6,13	100	6,13
30	4,16	100	4,16
31	8,07	100	8,07
32	4,25	100	4,25
33	3,59	100	3,59
34	5,39	100	5,39
35	3,82	100	3,82
36	4,17	100	4,17
37	4,19	100	4,19
38	3,26	100	3,26
39	6,34	100	6,34
40	3,55	100	3,55
41	4,92	100	4,92
42	4,39	100	4,39
43	3,72	100	3,72
44	9,33	100	9,33
45	3,69	100	3,69
46	4,25	100	4,25
47	3,59	100	3,59
48	3,77	100	3,77
49	5,27	100	5,27
50	4,15	100	4,15
51	4,96	100	4,96
52	3,87	100	3,87
53	6,94	100	6,94
54	3,55	100	3,55
55	4,92	100	4,92
56	3,85	100	3,85
57	5,25	100	5,25
58	2,59	100	2,59

59	4,74	100	4,74
60	2,25	100	2,25
61	3,39	100	3,39
62	3,23	100	3,23
63	3,94	100	3,94
64	3,86	100	3,86
65	5,12	100	5,12

Média	4,48	100	4,477384615
Desvio Padrão	1,34		
N'	59,45		

Anexo II – Questionário realizado neste estudo

C. Percepções sobre a usabilidade do sistema

Para cada uma das afirmações, assinale o valor da escala de Likert (1 a 5) relativamente à sua concordância.

	Discordo completamente	Discordo	Neutro	Concordo	Concordo completamente
1. Eu acho que gostaria de usar esse sistema com frequência.	1	2	3	4	5
2. Eu acho o sistema desnecessariamente complexo.	1	2	3	4	5
3. Eu achei o sistema fácil de usar.	1	2	3	4	5
4. Eu acho que precisaria de ajuda de uma pessoa com conhecimentos técnicos para usar o sistema.	1	2	3	4	5
5. Eu acho que as várias funções do sistema estão muito bem integradas.	1	2	3	4	5
6. Eu acho que o sistema apresenta muita incoerência.	1	2	3	4	5
7. Eu imagino que as pessoas aprenderão como usar esse sistema rapidamente.	1	2	3	4	5
8. Eu achei o sistema atrapalhado de usar.	1	2	3	4	5
9. Eu me senti confiante ao usar o sistema.	1	2	3	4	5
10. Eu precisei aprender várias coisas novas antes de conseguir usar o sistema.	1	2	3	4	5

D. Percepções sobre design e interação

Com base na interação que teve com a aplicação, gostaríamos que respondesse as seguintes questões:

1. Encontrou alguma dificuldade na realização da tarefa?

2. A app está clara para o seu propósito?

3. Os botões/campos têm uma dimensão correta para si?

4. É claro o feedback dos botões?

5. O que achou mais positivo e o mais negativo no uso da app?

E - Conhecimentos Gerais sobre a Robótica Industrial e o seu Potencial

	Sem opinião	Discordo totalmente	Discordo	Neutro	Concordo	Concordo totalmente
Sinto que os robôs colocam em risco o emprego das pessoas.						
Os robôs conseguem trabalhar em conjunto c/ os colaboradores da empresa, numa mesma tarefa.						
A introdução dos robôs na fábrica pode melhorar as minhas condições de trabalho.						
A introdução dos robôs vai aumentar a monotonia dos trabalhos.						
Sinto-me inseguro/a na presença de um robô.						
Sinto-me ansioso/a na presença de um robô.						
Os robôs são uma mais valia para a empresa e auxiliam no seu desenvolvimento.						
A introdução dos robôs na fábrica vai tornar as minhas tarefas mais difíceis/exigentes.						
A introdução dos robôs na fábrica é algo positivo.						
Os robôs podem aumentar a qualidade dos produtos, diminuindo/detetando defeitos.						
Os robôs contribuem para o aumento da produtividade da empresa.						
Os robôs podem causar ferimentos aos colaboradores da empresa.						
Os robôs podem atenuar o risco de lesões músculo-esqueléticas relacionadas com o trabalho.						
Sinto-me mais seguro se o robô estiver rodeado por uma vedação.						

F -Robótica Colaborativa VS Robótica Industrial

Consoante os critérios, assinale a opção que lhe parece mais capaz de os assegurar.

	Robótica Industrial	Robótica Colaborativa	Sem Opinião
Flexibilidade			
Velocidade			
Produtividade			
Segurança			
Aceitação			
Menor Custo de Aquisição			
Capacidade de Colaboração			

G -Principais Requisitos à Implementação de um Robô Colaborativo

	Sem opinião	Muito Pouco Importante	Pouco Importante	Indiferente	Importante	Muito Importante
Segurança						
Flexibilidade						
Eficiência						
Formação						
Conhecimento Técnico dos Colaboradores						
Comunicação Robô/Colaborador						
Autonomia						

Análise da Perspetiva dos Trabalhadores em Relação à Robótica Colaborativa

Um robô colaborativo, também conhecido como *cobot*, possibilita o trabalho em conjunto com os colaboradores da empresa. Não necessita de uma vedação de proteção e pode ser móvel, ou seja, pode deslocar-se autonomamente pelo chão-de-fábrica.



A - Dados Pessoais:

Idade	
-------	--

Lesões Músculo-Esqueléticas Relacionadas com o Trabalho (LMERT)	
Sim	Qual:
Não	

Género	
Masculino	
Feminino	
Outro	

Antiguidade na Secção (anos/meses)	
------------------------------------	--

Habilitações Literárias	
1º ciclo	
2º ciclo	
3º ciclo	
Ensino secundário	
Licenciatura	
Mestrado	
Doutoramento	

- Está familiarizado com o conceito de robótica colaborativa?

sim	
não	

B - Conhecimentos Gerais sobre a Robótica Industrial e o seu Potencial

	Sem opinião	Discordo totalmente	Discordo	Neutro	Concordo	Concordo totalmente
Sinto que os robôs colocam em risco o emprego das pessoas.						
Os robôs conseguem trabalhar em conjunto c/ os colaboradores da empresa, numa mesma tarefa.						
A introdução dos robôs na fábrica pode melhorar as minhas condições de trabalho.						
A introdução dos robôs vai aumentar a monotonia dos trabalhos.						
Sinto-me inseguro/a na presença de um robô.						
Sinto-me ansioso/a na presença de um robô.						
Os robôs são uma mais valia para a empresa e auxiliam no seu desenvolvimento.						
A introdução dos robôs na fábrica vai tornar as minhas tarefas mais difíceis/exigentes.						
A introdução dos robôs na fábrica é algo positivo.						
Os robôs podem aumentar a qualidade dos produtos, diminuindo/detetando defeitos.						
Os robôs contribuem para o aumento da produtividade da empresa.						
Os robôs podem causar ferimentos aos colaboradores da empresa.						
Os robôs podem atenuar o risco de lesões músculo-esqueléticas relacionadas com o trabalho.						
Sinto-me mais seguro se o robô estiver rodeado por uma vedação.						

C - Robótica Colaborativa VS Robótica Industrial

Consoante os critérios, assinale a opção que lhe parece mais capaz de os assegurar.

	Robótica Industrial	Robótica Colaborativa	Sem Opinião
Flexibilidade			
Velocidade			
Produtividade			
Segurança			
Aceitação			
Menor Custo de Aquisição			
Capacidade de Colaboração			

D - Principais Requisitos à Implementação de um Robô Colaborativo

	Sem opinião	Muito Pouco Importante	Pouco importante	Indiferente	Importante	Muito importante
Segurança						
Flexibilidade						
Eficiência						
Formação						
Conhecimento Técnico dos Colaboradores						
Comunicação Robô/Colaborador						
Autonomia						