



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Impacto da Implementação de um Robô Colaborativo nos Fatores
Humanos e no Desempenho da Produção: Estudo de um Caso

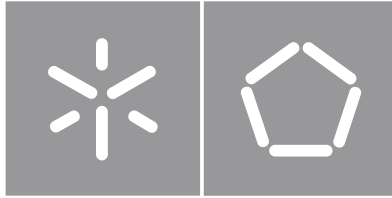
Ana Carolina Ferreira Peixoto

Ana Carolina Ferreira Peixoto

Impacto da Implementação de um Robô Colaborativo
nos Fatores Humanos e no Desempenho da
Produção: Estudo de um Caso

UMinho | 2022

fevereiro de 2022



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Ana Carolina Ferreira Peixoto

**Impacto da Implementação de um Robô
Colaborativo nos Fatores Humanos e no
Desempenho da Produção: Estudo de um Caso**

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

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

"I'm sure we're taller in another dimension. You say we're small and not worth the mention", diz Frank Ocean na *White Ferrari*. Porque não conjugar estas duas perspetivas e tentar ser o melhor possível nesta dimensão? E assim, passados cinco anos, posso dizer que trabalhei para isso. Foram anos repletos de novas aprendizagens, novas amizades e novas experiências. Tudo isto contribuiu e continuará a contribuir para o meu desenvolvimento como pessoa e procurarei sempre, com as ferramentas que adquiri, ser melhor a cada dia que vier.

Agradeço aos meus colegas de curso, pelo companheirismo e pelos trabalhos de grupo repletos de alegria. Agradeço aos meus amigos de curso, que espero levar por esta vida fora, pela força e companhia. Agradeço aos meus amigos já de outras vidas pela presença e interesse constante. Como esta, haverão outras. Ainda no campo da amizade, agradeço aos meus amigos de Erasmus, espalhados pelo mundo, por terem entrado na minha vida e terem feito da experiência, proporcionada por estes anos, algo inesquecível e insubstituível. Onde quer que estejam, obrigada. Ao Vasco, um especial agradecimento.

Agradeço agora aos Professores. Aos dos ciclos anteriores, por terem pavimentado o caminho que me permitiu chegar aqui com tanta facilidade. Aos da Universidade, pela partilha de conhecimento, pelo esforço e pela exigência. E deixo um agradecimento especial ao Professor Dinis Carvalho e à Professora Ana Colim, pela disponibilidade, dedicação e orientação neste trabalho.

De seguida, agradeço às pessoas e estruturas que suportaram esta dissertação. Primeiramente, agradeço ao Nuno Sousa, responsável da empresa, pela disposição que teve sempre em ajudar e por me receber. Em segundo lugar, às colaboradoras e colaboradores da empresa, pelo tempo e informação despendidos. E, por fim, à equipa do laboratório de investigação DTx, por me terem aceitado no projeto e por toda a ajuda prestada.

Por fim, um agradecimento profundo à minha família, em especial aos meus pais, por estarem sempre presentes em tudo, por me apoiarem em todos os momentos e por me guiarem, pelo que hoje sei, serem os melhores caminhos. O que sou, devo-lhe a eles.

"Todo o destino é partir."

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

Robô Colaborativo nos Fatores Humanos e no Desempenho na Produção: Estudo de um Caso

Esta dissertação intitulada Impacto da Implementação de um Robô Colaborativo nos Fatores Humanos e no Desempenho na Produção: Estudo de um Caso, acompanha a implementação de um sistema robótico numa unidade de produção e analisa o seu impacto na organização e nos fatores humanos numa área produtiva. Ao longo do trabalho é apresentada uma nova ferramenta de mapeamento de processos, *Waste Identification Diagram with Ergonomic Assessment (WIDEA)*, que surge do interesse na integração da produção *lean* com Ergonomia. Concluiu-se que o WIDEA auxilia a identificação da cadeia de valor e identificação dos principais desperdícios. Tudo isto, aliado à preocupação com o bem-estar e saúde dos colaboradores, figuras centrais nos processos produtivos. É também realizada uma avaliação ergonómica ao posto de trabalho onde o sistema robótico será implementado, com recurso à tecnologia XSens e ao método RULA. Para o mesmo posto de trabalho é também realizado um estudo de tempos. Depois desta fase de diagnóstico, é aplicado um questionário, com o objetivo de recolher as principais dúvidas e preocupações dos colaboradores do chão-de-fábrica em relação a esta implementação e é dinamizada uma sessão de esclarecimento, de modo a atenuar o impacto nos recursos humanos da chegada do *cobot*. Por fim, é estudado o impacto da introdução do robô na organização, com destaque para o impacto na redução do risco de lesões musculoesqueléticas relacionadas com o trabalho, no controlo de qualidade e na redução de tempos. Em relação à redução do risco de LMERT, verifica-se que o sistema robótico poderá não atenuar por completo a sua existência, consoante o cenário em que for utilizado. Em relação ao controlo de qualidade, a deteção de defeitos é mais detalhada quando realizado por um colaborador humano. Quanto à duração das tarefas, verifica-se que existe uma redução das mesmas com a utilização do robô colaborativo.

PALAVRAS-CHAVE

Avaliação ergonómica, Desperdício, Produção *lean*, Lesões musculoesqueléticas, Robótica Colaborativa

ABSTRACT

Impact of the Implementation of a Collaborative Robot on Human Factors and Performance in Production: Study of a Case

This dissertation, entitled Impact of the Implementation of a Collaborative Robot on Human Factors and Performance in Production: Study of a Case, follows the implementation of a robotic system in a production unit and analyses its impact on the organization and human factors. Throughout the work, a new process mapping tool Waste Identification Diagram with Ergonomic Assessment (WIDEA) is presented, which arises from the interest in the integration of Lean production and Ergonomics. It was concluded that WIDEA helps to identify the value chain and the main wastes associated in the production system. This, linked to the concern with the well-being and health of employees, central figures in production processes. An ergonomic evaluation is also carried out at the workstation where the robotic system will be implemented, using the XSens technology and the RULA method. A time study is also carried out for the same workstation. After the diagnostic phase, a questionnaire is applied, with the intent of identifying the main issues and concerns of the workforce with this implementation, in order to mitigate its impact on human resources. Finally, the introduction of the cobot in the organization is studied, with emphasis on the impact on reducing physical overload, on quality control and on reducing operational times. Regarding the reduction of physical overload, it appears that the robotic system may not mitigate its existence, depending on the complete environment in which it is used. Regarding quality control, defect detection is more detailed when performed by a human employee. As for the duration of the tasks, it appears that there is a reduction of times with the use of the cobot.

KEYWORDS

Collaborative robotics, Ergonomic assessment, Lean production, Musculoskeletal injuries, Waste

ÍNDICE

Agradecimentos.....	iii
Resumo.....	v
Abstract.....	vi
Índice.....	vii
Índice de Figuras.....	xi
Índice de Tabelas	xv
Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos	ii
1. Introdução	3
1.1 Enquadramento	3
1.2 Objetivos.....	5
1.3 Caraterização da Metodologia de Investigação	5
1.4 Estrutura da Dissertação	7
2. Enquadramento Teórico.....	8
2.1 Produção <i>Lean</i>	8
2.1.1 Origem.....	8
2.1.2 Desperdício e Fluxo de Valor	9
2.1.3 Ferramentas de Mapeamento do Fluxo de Valor	11
2.2 Ergonomia: Estudo Ergonómico do Posto de Trabalho e Estudo de Tempos	13
2.2.1 Sinergia entre Ergonomia e <i>Lean</i>	13
2.2.2 A Problemática das LMERT.....	14
2.2.3 Métodos de Avaliação de Risco de LMERT.....	14
2.2.4 Método Observacional RULA.....	16
2.2.5 Método Observacional KIM	17
2.2.6 Método de Medição Direta <i>XSens MVN</i>	18
2.2.7 A Cronometragem como Técnica de Medida do Trabalho	18
2.3 Robótica Industrial	19
2.3.1 História	20
2.3.2 Principais Aplicações de Robôs Industriais	21

2.3.3	Potencialidades e Desafios.....	22
2.3.4	Robótica Colaborativa	24
3.	Descrição do Projeto	29
3.1	DTx - Laboratório Colaborativo para a Transformação Digital e Empresa Parceira	29
3.2	Descrição do Projeto	30
3.2.1	O Produto.....	30
3.2.2	O Processo Produtivo e a <i>Master Frame</i>	32
4.	Avaliação Ergonómica do Posto de Trabalho Inicial e Estudo de Tempos.....	36
4.1	Avaliação Ergonómica	36
4.1.1	Recolha de Ripas Simples.....	38
4.1.2	Recolha de Ripas Duplas	40
4.1.3	Abastecimento do Carrinho de Transporte.....	41
4.1.4	Discussão.....	42
4.2	Estudo de Tempos no Posto Manual.....	42
4.2.1	Escolha da Atividade e Divisão em Elementos	43
4.2.2	Criação da Folha de Tempos Observados.....	44
4.2.3	Julgamento da Atividade	45
4.2.4	Ajustamentos Aplicados e Tempo Normalizado.....	45
4.2.5	Obtenção de Tempo Padrão.....	46
5.	Desenvolvimento e Aplicação da Ferramenta de Mapeamento	48
5.1	Desenvolvimento da Ferramenta WIDEA	48
5.1.1	Indicadores de Produção	49
5.1.2	Escalas.....	55
5.1.3	Indicadores Ergonómicos.....	56
5.2	Aplicação da Ferramenta WIDEA.....	61
5.3	Validação da Ferramenta.....	62
6.	Impacto do Sistema Colaborativo nos Recursos Humanos	65
6.1	Estrutura do Questionário	65
6.2	Apresentação e Análise dos Resultados	67

6.2.1	Caracterização da Amostra	67
6.2.2	Secção B - Conhecimentos Gerais sobre a Robótica Industrial e o seu Potencial	67
6.2.3	Secção C - Robótica Colaborativa VS Robótica Industrial	69
6.2.4	Secção D - Principais Requisitos à Implementação de um Robô Colaborativo	69
6.2.5	Discussão.....	70
6.3	Sessão de Esclarecimento	71
6.3.1	Estrutura	71
7.	Previsão do Impacto do Sistema Colaborativo na Organização	75
7.1	O Sistema Robótico	75
7.2	Impacto da Implementação do Sistema Robótico	77
7.2.1	Descrição das Situações Possíveis	77
7.2.2	Impacto no Risco Biomecânico	78
7.2.3	Impacto na Detecção de Defeitos.....	79
7.2.4	Impacto nos Tempos	79
7.2.5	Outras Considerações.....	81
8.	Conclusões.....	83
	Referências Bibliográficas	86
	Apêndice 2 – Avaliação Ergonómica – Recolha Ripa Dupla	98
	Apêndice 3 – Avaliação Ergonómica – Abastecimento do Carrinho de Transporte	101
	Apêndice 4 –Registo de TO e FA.....	103
	Apêndice 5 – Ajustamentos de Dificuldade.....	107
	Apêndice 6 – Correções	108
	Apêndice 7 – Cálculos para Definir a Procura e o Peso de Cada Referência	109
	Apêndice 8 - Cálculo de Tempos Takt	110
	Apêndice 9 – Cálculo de Tempos de Ciclo	112
	Apêndice 10 – Cálculo dos níveis de WIP.....	114
	Apêndice 11 – Avaliação Ergonómica do Processo com Recurso ao KIM	115
	Apêndice 12 – Avaliação Ergonómica do Transporte com Recurso ao KIM.....	124
	Apêndice 13 – WIDEA	126
	Apêndice 14– Sessão de Foco para Validação da Ferramenta	127
	Apêndice 15– Questionário Aplicado aos Colaboradores.....	131

Apêndice 16– Apresentação Utilizada na Sessão de Esclarecimento.....	134
Anexo 1 – Ficha de Avaliação RULA.....	138
Anexo 2 – Ajustamentos de Dificuldade.....	139
Anexo 3– Tabela de Cálculo de Correções Variáveis	141
Anexo 4– Ficha de Avaliação KIM – Manual Handling Operations (MHO)	148
Anexo 5 - KIM - Ficha de Avaliação Body Movement (BM)	151
Anexo 6 – Arquitetura do Sistema Robótico.....	154

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Casa do TPS (adaptado).....	8
Figura 2 – Robô colaborativo em proximidade com o colaborador.	25
Figura 3 - Diferentes abordagens de operação colaborativa.	28
Figura 4 - Logótipo do DTx.	29
Figura 5 - Referências KT (a), KS (b) e LT (c).....	30
Figura 6 - Representação dos diferentes tipos de ripa que compõe uma frame.	31
Figura 7 - Esquema da Pré-Master Frame e da Master Frame, com destaque para as três linhas e para os locais de recolha de peças pré-montadas.	33
Figura 8 - Produção das referências KS e KT na Master Frame e recolha de ripas pré-montadas para a referência LT na linha 3.....	33
Figura 9 - Operadora a retirar manualmente as ripas duplas da linha 2 da pré-Master Frame.	34
Figura 10 - Produção da referência LT na Master Frame e recolha de ripas pré-montadas para as referências KT e KS nas linhas 1 e 2.	34
Figura 11 - Colaborador equipado com os sensores, com o sistema XSens.....	36
Figura 12 - Exemplo do tipo de dados que a ferramenta permite recolher, neste caso a velocidade angular em cada frame.	37
Figura 13 - Avatar produzido pela ferramenta XSens.	37
Figura 14 - Zonas de recolha de ripas da Pré-Master Frame.	38
Figura 15 - Gráfico circular com a percentagem de risco associado à recolha de ripas simples.	39
Figura 16 - Avatar obtido com recurso à ferramenta XSens, representativo da posição crítica no alcance de peças.	39
Figura 17 Pontuação RULA para posição crítica no alcance de peças.	40
Figura 18 - Altura dos blocos obtida através dos TT-.....	50
Figura 19 - Altura a parte colorida dos blocos obtida através dos TC.....	51
Figura 20 - Profundidade dos blocos obtida através dos TS.	52
Figura 21 - Largura dos blocos obtida através dos níveis de WIP.....	53
Figura 22 - Largura das setas obtida através dos valores de distância entre estações e quantidade a transportar entre as mesmas.	54
Figura 23 - WIDEA, construído com os dados recolhidos na empresa.	61
Figura 24 - Resultados das afirmações de cariz negativo.	68

Figura 25 - Resultado das afirmações de cariz positivo.	68
Figura 26- Resultados da secção C do questionário: "Robótica Colaborativa VS Robótica Industrial"...	69
Figura 27 - Resultados da secção D do questionário: "Requisitos à Implementação de um Robô Colaborativo".....	70
Figura 28 - Gráfico inserido na apresentação para demonstrar a relação entre robótica industrial e robótica colaborativa.....	72
Figura 29 - Conteúdo mostrado na sessão: à esquerda, frame de vídeo para demonstrar o sistema de visão utilizado pelo robô; à direita, frame de vídeo do robô a separar as peças em conformidade das não-conforme.....	74
Figura 30 - Manipulador UR10 e-series.	75
Figura 31 - posição do robô na estação de trabalho: a) vista de cima e b) vista de frente.	76
Figura 32 - Sistema de navegação MiR200.	76
Figura 33 – Cenário 1.	77
Figura 34 - Cenário 2.....	78
Figura 35 - Cenário 3.....	78
Figura 36 - Simulações recorrendo ao software Coppelia.....	79
Figura 37 - Comparação dos tempos de execução do robô com os tempos padrão obtidos com o estudo de tempos.....	80
Figura 38 - Comparação dos tempos de execução do robô com os tempos análogos dos colaboradores.	81
Figura 39 - Pontuação RULA para posição crítica na marcação das peças.	96
Figura 40 - Pontuação RULA para posição crítica na colocação das peças no carrinho.....	97
Figura 41 - Pontuação RULA para posição crítica no alcance de peças.	98
Figura 42 - Pontuação RULA para posição crítica ao endireitar as peças.....	99
Figura 43 - Pontuação RULA para posição crítica na marcação das peças.	99
Figura 44 - Pontuação RULA para posição crítica na colocação das peças no carrinho.....	100
Figura 45 - Pontuação RULA para posição crítica no abastecimento do carrinho com ripas sem cubos.	101
Figura 46 - Pontuação RULA para posição crítica no abastecimento do carrinho com ripas simples.	102
Figura 47 - Pontuação RULA para posição crítica no abastecimento do carrinho com ripas duplas. ...	102
Figura 48 - WIDEA	126
Figura 49 - Slide 1 da apresentação da sessão de foco.	127

Figura 50 - Slide 2 da apresentação da sessão de foco.	127
Figura 51 - Slide 3 da apresentação da sessão de foco.	128
Figura 52 - Slide 4 da apresentação da sessão de foco.	128
Figura 53 - Slide 5 da apresentação da sessão de foco.	129
Figura 54 - Slide 6 da apresentação da sessão de foco.	129
Figura 55 - Slide 7 da apresentação da sessão de foco.	130
Figura 56 - Primeira página do questionário.	131
Figura 57 - Segunda página do questionário.....	132
Figura 58 - Terceira página do questionário.....	133
Figura 59 - Slide número 2 com as principais conclusões da análise dos resultados do questionário.	134
Figura 60 - Slide número 3 com a apresentação dos conceitos de robô industrial e robô colaborativo.	134
Figura 61 - Slide número 4 com a tabela com as principais diferenças entre robótica industrial e a robótica colaborativa.....	135
Figura 62 - Slide número 5 com conteúdo relativo ao mecanismo de segurança SRMS.....	135
Figura 63 - Slide número 6 com conteúdo relativo ao mecanismo de segurança HG.....	136
Figura 64 - Slide número 7 com conteúdo relativo ao mecanismo de segurança SSM.....	136
Figura 65 - Slide número 8 com conteúdo relativo ao mecanismo de segurança PFL.....	137
Figura 66 - Slide número 9 com conteúdo relativo à detecção de defeitos por parte do robô colaborativo.	137
Figura 67 - Ficha de Avaliação RULA.....	138
Figura 68 - Ajustamentos de dificuldade para avaliação objetiva do desempenho.....	139
Figura 69 - Ajustamento de dificuldade em função da duração da força exercida expressa em percentagem da duração do ciclo.	140
Figura 70- Tabela para o cálculo de correções variáveis - página 1.	141
Figura 71 -Tabela para o cálculo de correções variáveis - página 2.	142
Figura 72 - Tabela para o cálculo de correções variáveis - página 3.	143
Figura 73 - Tabela para o cálculo de correções variáveis - página 4.	144
Figura 74 - Tabela para o cálculo de correções variáveis - página 5.	145
Figura 75 - Tabela para o cálculo de correções variáveis - página 5.	146
Figura 76 - Tabela para o cálculo de correções variáveis - página 6.	147

Figura 77 - Ficha de avaliação KIM-MHO página 1.....	148
Figura 78 - Ficha de avaliação KIM-MHO página 2.....	149
Figura 79 - Ficha de avaliação KIM-MHO página 3.....	150
Figura 80 - Ficha de avaliação KIM-BM, página 1.	151
Figura 81 - Ficha de avaliação KIM-BM, página 2.	152
Figura 82 - Ficha de avaliação KIM-MB, página 3.	153
Figura 83 - Arquitetura do sistema robótico.....	154

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Nível de ação requerido (adaptado).....	16
Tabela 2 - Nível de risco KIM.	17
Tabela 3 - Componentes das frames, para cada referência.....	31
Tabela 4 – Tabela resumo dos elementos da recolha de ripas simples, respetiva pontuação RULA e níveis de ação.....	40
Tabela 5 – Tabela resumo dos elementos da recolha de ripas duplas, respetiva pontuação RULA e níveis de ação.....	41
Tabela 6 - Tabela resumo dos elementos do abastecimento do carrinho de transporte, respetiva pontuação RULA e níveis de ação.	42
Tabela 7 - Divisão das atividades por elementos.....	43
Tabela 8 - Tabela-resumo da folha de observação para a atividade da linha 1.....	44
Tabela 9 - Tabela-resumo da folha de observação para a atividade da linha 2.....	44
Tabela 10 - Tabela-resumo da folha de observação para a atividade da linha 3.....	44
Tabela 11 - FA ajustados e TN para as três atividades e respetivos elementos.....	45
Tabela 12 - Tempos totais das tarefas com base nos elementos em comum.	46
Tabela 13 - Tempos padrão para a recolha de ripas em cada linha.	46
Tabela 14 - Tempos padrão das tarefas com base nos elementos em comum.....	47
Tabela 15 - Pesos de cada referência nos cálculos auxiliares para o desenvolvimento da ferramenta WIDEA.....	49
Tabela 16 - TT das estações de trabalho.....	50
Tabela 17 - TC das estações de trabalho.....	51
Tabela 18 - TS das estações de trabalho.....	52
Tabela 19 - WIP associado a cada estação de trabalho.....	53
Tabela 20 - Distâncias entre as estações de trabalho.	54
Tabela 21 - Quantidade de frames a transportar entre estações.	55
Tabela 22 - Escala utilizada no desenho 3D dos blocos e setas.	56
Tabela 23 - Tabela-resumo do KIM-MHO para a Shelling.	58
Tabela 24 - Tabela-resumo do KIM-BM para a Shelling.....	59
Tabela 25 - Tabela-síntese com níveis de risco e medidas associadas a cada PT.	59
Tabela 26 - Tabela-síntese com níveis de risco e medidas associadas a cada tipo de transporte.....	60

Tabela 27 - Tabela inserida na apresentação com as principais diferenças entre robótica industrial e colaborativa.....	73
Tabela 28 - Tempos médios de execução da tarefa de paletização pelo manipulador robótico para as três linhas.....	80
Tabela 29 - Tempos observados, fator de atividade e observações necessárias para a atividade de recolha de ripas na linha 1.	103
Tabela 30 - Tempos observados, fator de atividade e observações necessárias para a atividade de recolha de ripas na linha 2.	104
Tabela 31 - Tempos observados, fator de atividade e observações necessárias para a atividade de recolha de ripas na linha 3.	105
Tabela 32 - Ajustamentos de dificuldade para a recolha de ripas na linha 1.....	107
Tabela 33 - Ajustamentos de dificuldade para a recolha de ripas na linha 2.....	107
Tabela 34 - Ajustamentos de dificuldade para a recolha de ripas na linha 3.....	107
Tabela 35 - Tabela relativa à procura das três referências para 3 semanas.....	109
Tabela 36 - Tabela-resumo do KIM-WBF para a Multi-Serra.....	115
Tabela 37 - Tabela-resumo do KIM-LHC para o abastecimento das OMGAS.	116
Tabela 38 - Tabela-resumo do KIM-WBF para o abastecimento das OMGAS.....	117
Tabela 39 - Tabela-resumo do KIM - LHC para a recolha de material das OMGAS.	118
Tabela 40 – Tabela-resumo do KIM-MHO para a Pré-Master Frame.....	119
Tabela 41 – Tabela-resumo do KIM-LHC para a Pré-Master Frame.	120
Tabela 42 – Tabela-resumo do KIM-LHC para a Master Frame.....	121
Tabela 43 – Tabela-resumo do KIM-MHO para os Tabuleiros.....	122
Tabela 44 – Tabela-resumo do KIM-LHC para os Tabuleiros.....	123
Tabela 45 - Tabela-resumo do KIM-PP para os o transporte com recurso a um carrinho.	124
Tabela 46 - Tabela-resumo do KIM-ABP para os transportes com recurso a empilhadoras.	125

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

DTx: *Digital Transformation Colab*

ErgoVSM: *Ergonomic Value Stream Mapping*

FA: Fator de Atividade

HDF: *High density fiberboard*

HRC: *Human-robot collaboration*

ISO: *International Organization for Standardization*

JIT: *Just-in-time*

KIM: *Key Indicator Method*

LME: Lesões musculoesqueléticas

LMERT: Lesões musculoesqueléticas relacionadas com o trabalho

PT: Posto de trabalho

RULA: *Rappid Upper Limb Assessment*

TC: Tempo de ciclo

TN: Tempo normalizado

TO: Tempo observado

TP: Tempo padrão

TPS: *Toyota Production System*

TS: Tempo de *setup*

TT: Tempo *takt*

VSM: *Value Stream Mapping*

WID: *Waste Identification Diagram*

WIDEA: *Waste Identification Diagram with Ergonomic Assessment*

WIP: *Work in progress*

1. INTRODUÇÃO

Neste primeiro capítulo será apresentado o enquadramento desta dissertação, com destaque para o projeto desenvolvido em contexto de Estágio Curricular. De seguida serão apresentados os objetivos da mesma, a metodologia de investigação utilizada ao longo do trabalho e, finalmente, a organização do documento.

1.1 Enquadramento

Esta dissertação enquadra-se num projeto desenvolvido pelo Laboratório Colaborativo em Transformação Digital – DTx, uma associação privada sem fins lucrativos, que desenvolve a sua atividade efetuando investigação aplicada em diferentes áreas associadas à transformação digital (*DTx-Digital Transformation Colab*, 2021). O projeto consiste em instalar um robô colaborativo na secção de Montagem numa empresa de fabrico e venda de mobiliário. Esta transição tecnológica necessita de *inputs* de diversas áreas de conhecimento, como a Eletrónica, a Mecânica, a Ergonomia e, por sua vez, a Engenharia e Gestão Industrial. Assim, é esperado que o trabalho realizado ao longo desta dissertação possa contribuir para atingir alguns dos objetivos deste projeto, sempre com foco na integração de princípios da produção *Lean* e da Ergonomia.

Após as três grandes revoluções industriais que alteraram significativamente os meios de produção, o mercado de trabalho e o sistema educacional (Benešová e Tupa, 2017), surge agora a 4ª Revolução Industrial, ou Indústria 4.0, fruto da evolução e do surgimento de novas soluções tecnológicas, nomeadamente robóticas e digitais. As empresas procuram implementar na sua produção estas novas tecnologias e processos de automatização (Colim et al., 2020), de modo a manterem-se competitivas nos seus mercados, através da crescente integração de tecnologias de comunicação e informação no seu chão-de-fábrica (Kolberg e Zühlke, 2015). A produção *Lean*, inspirada no Sistema Toyota de Produção que começou a ser desenvolvido em 1950 por Taiichi Ono (Ohno, 1988), visa auxiliar uma organização a obter o mínimo desperdício possível, baixos custos e altos níveis de qualidade, sempre na procura de uma melhoria contínua. Existem pontos de convergência entre a filosofia *Lean* e a Indústria 4.0 (Quenehen et al., 2019). Ambos os conceitos estão relacionados com altos níveis de eficiência e consideram o ser humano um elemento-chave para os atingir. Contudo, a 4ª Revolução Industrial tem o seu foco na tecnologia, enquanto a produção *Lean* olha para o sistema como um todo, procurando tornar os processos mais normalizados, transparentes e reduzidos ao estritamente essencial. A aplicação da

filosofia *Lean* na produção torna os processos menos complexos, o que suporta e facilita a implementação de novas soluções tecnológicas (Kolberg e Zühlke, 2015), abrindo caminho para a Indústria 4.0. Sendo a robótica uma das principais tecnologias associadas à Quarta Revolução Industrial, a colaboração entre pessoas e estas máquinas é vista também como uma das principais características da implementação da Indústria 4.0 (Quenehen et al., 2019). A Quinta Revolução Industrial surgirá quando dispositivos inteligentes, sistemas inteligentes e automação inteligente se fundirem totalmente com o mundo físico, em cooperação com a inteligência humana. A confiabilidade entre as duas partes alcançará uma eficiência promissora e desperdício mínimo. Além disso, a Indústria 5.0 será centrada nos fatores humanos e na sustentabilidade (Nahavandi, 2019). A colaboração homem-máquina é possível através da robótica colaborativa. Ao contrário dos robôs industriais tradicionais, que operam em espaços próprios e vedados, os robôs colaborativos, ou *cobots*, permitem o trabalho em proximidade ou com contacto direto com os funcionários das organizações (Kildal et al., 2018). A robótica colaborativa vem quebrar a barreira humano-robô, oferecendo maior flexibilidade (El Makrini et al., 2018), sendo estes *cobots* desenhados especificamente para o trabalho em simultâneo com seres humanos (Quenehen et al., 2019). Segundo Aaltonen e Salmi (2019), os robôs colaborativos possuem melhor usabilidade e são mais seguros que os robôs tradicionais. Além disso, são soluções economicamente mais acessíveis para as empresas (El Makrini et al., 2018). A nível ergonómico, é possível criar estratégias de partilha de tarefas (Kildal et al., 2018) entre o robô e o colaborador, de modo a atenuar a carga de trabalho do segundo, diminuindo a incidência de lesões musculoesqueléticas relacionadas com o trabalho (LMERT) (El Makrini et al., 2018), atribuindo ao robô as tarefas com maior risco de lesões associado (Colim et al., 2020). Estas tarefas, de maior risco, geralmente envolvem movimentos repetitivos, a manipulação manual de cargas e a adoção de posturas consideradas incorretas e prejudiciais ao corpo humano. Outra das grandes vantagens associadas à utilização destes robôs, é a possibilidade de combinar, graças à existência de trabalho colaborativo, as características do robô e do ser humano. A força e precisão do robô, associadas à destreza e capacidade de resolver problemas do operador, levam a um aumento dos níveis de qualidade da produção e a uma melhoria das condições de trabalho (El Makrini et al., 2018). Contudo, existem ainda bastantes desafios impostos à adoção destes *cobots* por parte das organizações. Segundo Kildal et al (2018), as principais preocupações dos potenciais utilizadores dos robôs colaborativos são a segurança e a falta de conhecimento técnico dos funcionários da empresa no controlo e operação dos mesmos. Os custos e a aceitação por parte dos trabalhadores são também fatores relevantes na decisão de adquirir ou não um *cobot* (Aaltonen e Salmi, 2019). Já existem, contudo, normas de segurança, como a ISO/TS 15066:2016, que compreende os

tipos básicos da interação humano-máquina e atende os vários tipos de colaboração entre eles (Moura e Moura, 2019). É possível também atenuar a sensação de falta de segurança associada a estas máquinas, procurando incorporar no seu design, características que transmitam conforto ao utilizador (Kildal et al., 2018). Relativamente ao impacto social e ao impacto nas organizações da introdução destes robôs, ainda não está disponível informação suficiente para ser possível tirar conclusões concretas (Sauppé e Mutlu, 2015). Apesar da crescente utilização de *cobots*, é necessário dedicar mais tempo a perceber as necessidades e impactos que estes têm nos seus utilizadores (Elprama et al., 2017), uma vez que os robôs muitas vezes desempenham o papel de um “colega” de trabalho, quando na verdade não o são, privando o colaborador de comportamentos sociais a que estava habituado. Assim, a implementação destas novas tecnologias, como a robótica colaborativa, deve ter sempre o foco principal nos fatores humanos. Para tal, é importante que estas máquinas sejam projetadas a pensar nos utilizadores e no meio envolvente. A componente humana continuará a ser de extrema importância e como tal, o objetivo não deverá ser a exclusividade da robótica e da tecnologia nos processos de produção (Colim et al., 2020), mas sim uma colaboração que retire o melhor dos dois mundos.

1.2 Objetivos

O principal objetivo desta dissertação é analisar o impacto do sistema robótico na organização e nos fatores humanos e acompanhar a sua implementação. Para atingir este objetivo principal foram estabelecidos objetivos secundários:

- Avaliação ergonómica do posto de trabalho onde o robô colaborativo será instalado e estudo de tempos;
- Desenvolvimento de uma ferramenta de mapeamento, que integre aspetos importantes dos fluxos produtivos com indicadores ergonómicos;
- Recolha da perceção dos trabalhadores em relação à robótica industrial e preparação dos mesmos para a implementação da célula robótica;
- Estudo do impacto do robô na organização da produção, procurando perceber o que mudará no posto de trabalho em questão.

1.3 Caracterização da Metodologia de Investigação

A metodologia de investigação a ser utilizada ao longo desta dissertação será a de Investigação-Ação (Saunders et al., 2019), uma vez que implicará recolha de dados e posterior análise dos mesmos, de forma a mapear o sistema, com o objetivo final de introduzir mudança na organização, com a instalação

de um robô colaborativo na secção de Montagem da empresa e conseqüente alteração da dinâmica da produção. Além disso, para o sucesso do projeto, será necessário envolver os trabalhadores, cruciais para a recolha de informação, com a criação de um ambiente colaborativo entre estes e os investigadores.

Esta dissertação foi desenvolvida no âmbito de um Estágio Curricular, realizado no DTx. A equipa destacada para este projeto incluiu pessoas de diversas áreas de conhecimento, tais como a Robótica, a Ergonomia e Fatores Humanos e o *Design*. Devido às restrições impostas pela pandemia de Covid-19, o teletrabalho vigorou durante grande parte do projeto. Com o alívio das restrições, a equipa reuniu-se duas vezes por semana nas instalações do DTx, na Universidade do Minho. Relativamente às visitas à empresa, estas foram planeadas conforme a necessidade de recolha de dados no chão-de-fábrica. Ao longo do projeto, e devido às restrições pandémicas, várias reuniões *online* foram realizadas através da plataforma *Microsoft Teams* com os responsáveis pelo projeto na empresa parceira.

Relativamente à avaliação ergonómica do PT, onde o sistema robótico será inserido, foi realizada uma visita à empresa, com o objetivo de utilizar a tecnologia *XSens*. Os dados recolhidos foram depois tratados e analisados permitindo determinar o risco associado a cada tarefa visualizada. Para o estudo de tempos, foram realizadas visitas, registadas as observações e recolhidas filmagens das atividades observadas, para posterior julgamento da atividade. Para o mapeamento do processo e a avaliação ergonómica, foram realizadas visitas ao chão-de-fábrica da empresa, de modo a recolher os dados necessários à construção da ferramenta WIDEA, desenhada com recurso ao *SkechUp* e ao *Photoshop*. Em relação à avaliação da perceção dos colaboradores em relação à robótica colaborativa, foi desenvolvido um questionário, que antes de ser aplicado foi validado pela empresa e por professores de Robótica da Universidade do Minho. Para aplicar o questionário aos colaboradores foram realizadas duas visitas à fábrica e foram entrevistados todos os colaboradores que terão proximidade com o sistema robótico. Os dados recolhidos através do questionário foram analisados, recorrendo à ferramenta *Excel*. Com esta análise, foi possível planear e desenvolver uma sessão de esclarecimento. Relativamente ao robô colaborativo, este está a ser estudado e programado nas instalações do DTx. A recolha de informação relativamente ao sistema robótico foi feita no laboratório, ou através de reuniões com os membros da equipa responsáveis pela programação do robô e *design* do novo posto de trabalho.

1.4 Estrutura da Dissertação

Este documento está dividido em oito capítulos. No primeiro capítulo é apresentado o enquadramento, os objetivos da dissertação e a metodologia de investigação utilizada.

No segundo capítulo, encontra-se a revisão bibliográfica sobre os temas relacionados com o projeto apresentado ao longo do documento, com destaque para a produção *Lean*, o estudo ergonómico do PT, o estudo de tempos e a robótica industrial e colaborativa.

No terceiro capítulo é feita uma descrição do projeto, do DTx e da empresa parceira e é apresentado o produto e sistema produtivo, focos deste estudo.

No capítulo 4 é apresentada a avaliação ergonómica realizada ao PT onde o robô será implementado e o estudo de tempos.

O quinto capítulo trata o desenvolvimento e a aplicação da ferramenta de mapeamento, descrevendo a motivação para a mesma, os indicadores estudados e a sua validação.

No sexto capítulo é estudado o impacto do sistema colaborativo nos recursos humanos e é apresentado o questionário aplicado, os seus resultados e a sessão de esclarecimento dinamizada.

No capítulo 7 é estudado o impacto do sistema colaborativo na organização, com descrição do sistema robótico que será implementado e o seu efeito no risco de LMERT, controlo de qualidade e tempos de execução.

Finalmente, no capítulo 8 são apresentadas as principais conclusões retiradas deste estudo.

Segue-se a referenciação bibliográfica, utilizada ao longo da dissertação, e os apêndices e anexos da mesma.

2. ENQUADRAMENTO TEÓRICO

Neste capítulo será feita uma revisão de bibliografia dos conceitos e ferramentas utilizadas ao longo da dissertação. Irá ser explorada a origem da produção *Lean*, os tipos de desperdício e serão mencionadas algumas ferramentas de mapeamento de valor. Seguidamente, será explorada a sinergia entre a produção *Lean* e a Ergonomia, o conceito de LMERT e serão abordados alguns métodos de avaliação de risco do aparecimento destas mesmas lesões. De seguida, o foco passa pela robótica industrial, com uma curta viagem pela sua origem e história, para de seguida serem destacadas as suas principais aplicações e potencialidades, bem como os principais desafios que lhe são inerentes. Por fim, é explorada a robótica colaborativa, com destaque para as suas características e benefícios.

2.1 Produção *Lean*

2.1.1 Origem

Com o fim da Segunda Guerra Mundial, em 1945, o Japão passava por problemas financeiros derivados da falta de recursos para a sua produção. Assim, a necessidade fez com que se inovasse a forma como se olhava para os sistemas de produção. Taiichi Ohno, funcionário da *Toyota Motor Company*, face às dificuldades com que o Japão se deparava, desenvolveu o *Toyota Production System* (TPS) (Ohno, 1988). Este tornou-se a base de um movimento mundial empenhado em ter um “pensamento *Lean*” (Liker e Morgan, 2006). O TPS foi reconhecido como um meio para alcançar vantagem competitiva na indústria (Hedelind e Jackson, 2011).

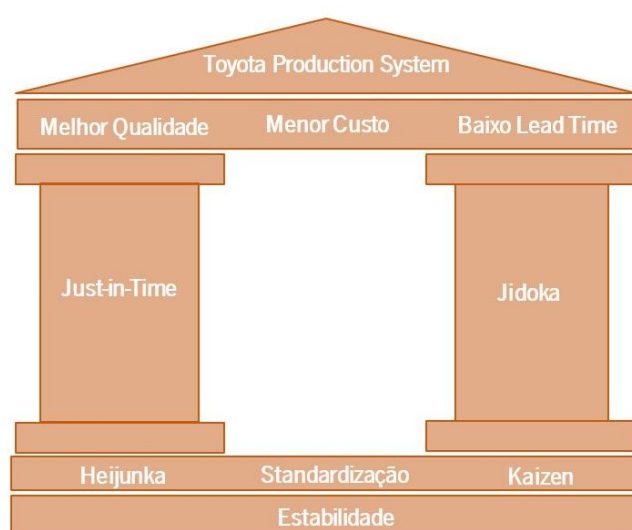


Figura 1 - Casa do TPS (adaptado).
(Liker e Morgan, 2006)

O TPS é frequentemente representado por uma casa (Figura 1). Uma casa é um sistema e é tão forte quanto a sua parte mais fraca (Liker e Morgan, 2006). Esta estrutura pretende simbolizar a necessidade de que todas as partes do sistema funcionem em conjunto. No caso do TPS, os seus pilares são o *Just-in-Time* (JIT) e o *Jidoka*. O JIT surgiu com o objetivo de substituir a filosofia *Just-in-Case*, associada a grandes inventários e a uma produção contínua (Kester et al., 2001). Por sua vez, o JIT permite fornecer apenas o necessário para o cliente, quando necessário e nas quantidades solicitadas (Aradhye e Kallurkar, 2014). O outro pilar corresponde ao *Jidoka*, palavra japonesa para autonomação, que descreve um tipo de automação que permite um trabalho harmonioso entre máquina e operador, ao apresentar mecanismos inteligentes que permitem a paragem automática de um processo, pelo homem ou pela máquina, no caso de uma anomalia, seja ela o mau funcionamento do equipamento ou problemas de qualidade (Romero et al., 2019). *Jidoka* engloba ferramentas do tipo *poka-yoke*, que permitem detetar e prevenir defeitos e interromper o trabalho da máquina. A filosofia central do método *poka-yoke* é o respeito pelo ser humano e a sua inteligência. No que diz respeito a operações repetitivas, que dependem de vigilância do ser humano, o *poka-yoke* pode economizar tempo e libertar a mente do trabalhador para operações mais criativas (Dudek-Burlikowska e Szewieczek, 2009).

O termo *Lean* está relacionado com o uso de menos esforço humano, menos espaço de produção, menos investimento em ferramentas, menos horas de engenharia para desenvolver um novo produto em menos tempo, menos *stock*, menos defeitos na produção e produção de uma variedade cada vez maior de produtos (J. Womack et al., 1990). Womack e Jones (1997) definiram os cinco princípios da produção *Lean*: a criação de valor, a identificação do fluxo de valor, o fluxo contínuo de produção, a implementação de um sistema *pull* e a procura pela perfeição. A produção *Lean* tem, resumidamente, dois objetivos: eliminar o desperdício e criar valor para o consumidor final (Hedelind e Jackson, 2011).

2.1.2 Desperdício e Fluxo de Valor

Aos olhos da produção *Lean*, desperdício é frequentemente descrito como *muda* (palavra japonesa) e diz respeito a toda a atividade que não agrega valor ao produto. Por outras palavras, é toda ação realizada por uma empresa, pela qual o cliente não está disposto a pagar (Pienkowski, 2014). A chave para alcançar eficiência e eficácia é a compreensão total do processo de produção e a identificação de todos os tipos de desperdício. O desperdício está intimamente relacionado com o conceito de valor, portanto, para a sua identificação, é fundamental destacar as atividades que acrescentam valor ao produto e eliminar as que não o fazem (Dinis-Carvalho et al., 2019).

Ohno (1988) e Shingo e Dillon (1989) identificaram sete tipos de desperdício: superprodução, inventário, espera, defeitos, processamento excessivo, movimento e transporte. A superprodução ocorre quando um produto é produzido antes, mais rápido ou em maior quantidade do que o requisitado pelo cliente. Isto resulta em prazos de entrega mais longos e custos acrescidos; O inventário acarreta custos elevados e desnecessários, esconde defeitos e danifica materiais que ficam armazenados por muito tempo; A espera é um dos desperdícios mais fáceis de detetar, seja à espera de pessoas, materiais ou de máquinas que não terminaram as suas tarefas; Defeito é qualquer característica do produto que não respeite os padrões previamente definidos. Podem levar a custos excessivos de material e retrabalho; O processamento excessivo ocorre quando o produto tem mais funcionalidades do que o cliente está disposto a pagar. Isso implica que no processo produtivo haja gastos com atividades que não agregam valor ao produto e, como tal, acarretam custos desnecessários para a empresa. Movimento diz respeito a todo movimento desnecessário, que não agrega valor ao produto, seja ele de pessoas, ferramentas, máquinas ou materiais. O transporte, assim como os desperdícios citados anteriormente, não acrescenta valor ao produto e pode também danificá-lo. Afeta pessoas, ferramentas, máquinas ou materiais.

Além destes sete desperdícios, Womack e Jones (1997) identificaram uma oitava categoria: o talento não utilizado, relacionado com o não aproveitamento pleno dos conhecimentos, competências e habilidades das pessoas envolvidas na empresa.

Ao observar as definições de cada desperdício, entende-se que estas estão relacionadas com o facto de nenhum valor ser acrescentado ao produto. Compreender as necessidades dos clientes é então fundamental para a sua eliminação. A produção *Lean* visa alinhar progressivamente as operações do chão-de-fábrica com os requisitos dos clientes e, para isso, procura implementar uma cultura eliminação de desperdício e melhoria contínua dos processos (Dinis-Carvalho et al., 2015). Womack e Jones (1997) definiram os cinco princípios da produção *Lean*: a criação de valor, a identificação do fluxo de valor, o fluxo contínuo de produção, a implementação de um sistema *pull* e a procura pela perfeição. Porém, em relação ao segundo princípio, para identificar o fluxo de valor de forma precisa, é necessário ter uma ferramenta poderosa que represente os principais aspetos de um sistema de produção e que destaque os seus desperdícios. Várias ferramentas gráficas estão disponíveis para auxiliar neste processo, mas geralmente dedicam-se a aspetos específicos (Dinis-Carvalho et al., 2019). Algumas ferramentas estão focadas principalmente na representação do *layout* da fábrica e das rotas de produção, enquanto outras estão focadas no fluxo de produção de determinados produtos (Dinis-Carvalho et al., 2014).

2.1.3 Ferramentas de Mapeamento do Fluxo de Valor

Existem várias ferramentas de mapeamento disponíveis para auxiliar na identificação do fluxo de valor e na evidenciação de desperdícios, mas geralmente cada uma dedica-se a aspetos específicos (Dinis-Carvalho et al., 2019). Embora, em termos funcionais, as ferramentas de mapeamento assemelham-se por servirem o mesmo propósito, ou seja, a visualização das atividades que compõem um processo de forma sequencial, como cada ferramenta apresenta características próprias e fazem uso de um conjunto limitado de dados, elas permitem observar um mesmo processo sob diferentes perspetivas (Jorge e Miyake, 2015).

Value Stream Mapping (VSM)

Uma ferramenta que tem sido amplamente utilizada é o *VSM* (Rother e Shook, 1999). O *VSM* representa o fluxo de valor, o fluxo de materiais e informações, os desperdícios e as principais informações de desempenho. Uma característica importante desta ferramenta é a sua natureza visual, permitindo uma rápida avaliação do estado dos processos de produção (Dinis-Carvalho et al., 2019). Veio revolucionar as representações gráficas dos sistemas de produção (Sá et al., 2011).

Apesar de todas as vantagens que o *VSM* possui, algumas limitações também lhe foram apontadas e exaustivamente descritas, a partir de 1998 (Dinis-Carvalho et al., 2015). Estas limitações, apontadas ao longo dos anos, por diversos autores, foram recolhidas e sintetizadas por Dinis-Carvalho et al. (2019). Resumidamente, algumas das principais limitações da ferramenta são: a incapacidade de representar *layouts*; o uso de símbolos diversos, o que torna sua interpretação, por vezes, confusa; a incapacidade de representar mais do que uma família de produtos; a necessidade de leitura das informações escritas, a fim de compreender dados importantes, como a quantidade de *work in progress* (WIP); e a falta de representação dos desperdícios de transporte e movimentação.

Waste Identification Diagram, (WID)

Com o objetivo de ultrapassar algumas limitações do *VSM*, uma ferramenta denominada *Waste Identification Diagram* foi desenvolvida pelo Departamento de Produção e Sistemas da Universidade do Minho (Sá et al., 2011). O *WID* é capaz de representar unidades de produção inteiras; todos os fluxos de produção; lidar com a indústria de baixo volume e alta variedade; permitir a visualização do *layout* da *fábrica*; mostrar e avaliar todos os tipos de desperdícios de forma visual e intuitiva; e fornecer informações visuais e de desempenho eficazes (Dinis-Carvalho et al., 2015). Os dados apresentados são claros, permitindo uma perceção imediata do número de trabalhadores, WIP, tempo takt (TT), tempo de ciclo (TC) e tempo de *setup* (TS) de cada PT. O *WID* pede emprestado o conceito de controlo visual, uma das

ferramentas associadas à produção *Lean*, e fornece percepção visual imediata, quando aplicado à identificação de desperdícios (Sá et al., 2011).

Esta ferramenta é composta por uma série de blocos e setas. Os blocos representam (um grupo de) estações de trabalho, (um grupo de) máquinas ou secções do chão-de-fábrica. As setas representam o esforço de transporte. As dimensões dos ícones fornecem informações sobre determinados parâmetros, dando informações visuais imediatas. As dimensões do bloco incluem quatro tipos de informação: a largura do bloco representa o WIP, ou seja, o material que se encontra em espera para ser processado; a altura total do bloco representa o tempo takt; a altura da parte colorida do bloco representa o tempo de ciclo (TC); e a profundidade do bloco representa o tempo de *setup* da máquina, ou processo. A área frontal do bloco representa o tempo de processamento dessa estação. Além disso, dentro do bloco (ou próximo, quando a escala assim o exige) está representado o número de trabalhadores alocados na estação. A largura das setas representa o esforço de transporte. Esse valor é obtido multiplicando o número de produtos transportados de uma estação para outra, pela distância percorrida entre elas. O comprimento das setas não tem significado, para manter a interpretação simples, e é o mesmo para todas as setas do diagrama. Observando o desenho final desta ferramenta gráfica de mapeamento, podemos chegar a algumas conclusões, tais como identificar facilmente as rotas de produção, olhando para as setas, identificar o caminho mais longo e ver onde o esforço de transporte é maior, procurando as setas mais largas. Podemos ver como o WIP está distribuído por todo o sistema de produção, ou a seção que ele represente, e concentrar os esforços para diminuí-lo nos pontos certos. Podemos visualizar o tempo ocioso de cada estação, destacado pela parte não colorida do bloco ($TC \ll TT$), verificar se operam na sua capacidade total, ou identificar a estação com maior ocupação. Mas a informação mais poderosa e imediata que o WID pode dar é onde o desperdício é mais evidente, uma vez que blocos maiores significam maior desperdício (Dinis-Carvalho et al., 2015).

Ergonomic Value Stream Mapping (ErgoVSM)

O ErgoVSM é uma ferramenta de mapeamento que procura integrar Ergonomia e *Lean* (C. Jarebrant et al., 2016). É baseada na metodologia VSM, proposta por Rother e Shook (1999), mas tem em consideração fatores ergonômicos (Caroline Jarebrant et al., 2016). Essa análise adicional pode resultar em reduções de custo para as empresas (Goossens, 2018). Nagaraj et al. (2019) afirmaram que esta abordagem integrada reduz os níveis de risco para o colaborador e melhora o desempenho do sistema. No entanto, desenvolvê-lo pode ser demorado, uma vez que dados adicionais são necessários.

2.2 Ergonomia: Estudo Ergonómico do Posto de Trabalho e Estudo de Tempos

Segundo alguns autores, a Ergonomia tem a sua origem na pré-história (Greco, 2004; Vidal, 2000). Desde as civilizações antigas o Homem preocupa-se em adequar a forma das pegas dos instrumentos, utensílios e ferramentas à forma da sua mão (Lucio et al., 2010). Nas culturas antigas, clássicas e românicas estas preocupações continuaram, mas não existiu a preocupação em estudar ou sistematizar as atividades humanas (Láuar et al., 2010). O tema é oficializado, quando em 1949 decorre a primeira reunião de investigadores para retoma dos estudos sobre esta ciência (Láuar et al., 2010). A Ergonomia é então uma área multidisciplinar que integra conhecimentos de antropometria, psicologia, biomecânica, fisiologia muscular, que trata da interação entre os homens e a tecnologia (Bittencourt et al., 2011) e cria e/ou adapta tarefas, sistemas, produtos e ambientes de acordo com as habilidades e limitações físicas e mentais das pessoas (Coelho, 2011). Segundo a Associação Internacional de Ergonomia, a Ergonomia estuda as interações dos seres humanos com outros elementos do sistema, fazendo aplicações de teoria, princípios e métodos de projeto, com o objetivo de melhorar o bem-estar humano e o desempenho global do sistema (IEA, n.d.) A Associação Internacional de Ergonomia dividiu-a em três domínios de especialização: Ergonomia Física, responsável pelo estudo das características da anatomia humana; Ergonomia Cognitiva, que estuda os processos mentais; e Ergonomia Organizacional, que trata da melhoria de sistemas sociotécnicos, processos e estruturas organizacionais.

2.2.1 Sinergia entre Ergonomia e *Lean*

A implementação da filosofia *Lean* nas empresas traz benefícios para as mesmas (Shah e Ward, 2003). Contudo, é possível encontrar na literatura evidências que apontam para problemas de carácter ergonómico, relacionados com esta implementação (Arezes et al., 2010). De modo a combater estes problemas, é essencial uma sinergia entre Ergonomia e produção *Lean*. O objetivo final desta sinergia é conseguir maior produtividade, mas não à custa de um trabalho Fordiano, sem conteúdo e sentido para os trabalhadores (Bittencourt et al., 2011).

É possível relacionar alguns conceitos da filosofia *Lean* com Ergonomia e demonstrar como a sua aplicação nas empresas pode levar a uma melhoria nas condições de trabalho dos operadores. Por exemplo, relativamente à metodologia 5S, esta auxilia a obtenção de um posto de trabalho limpo, apenas com o necessário à tarefa a realizar, reduzindo o esforço e fadiga na procura de peças ou ferramentas e, muitas vezes, reduzindo a frustração de não as encontrar (Bittencourt et al., 2011). Relativamente ao uso de *kanbans*, este promove um enriquecimento do trabalho, motivando os operadores pela maior sensação de importância da tarefa que realizam, contribuindo também para a redução da monotonia

(Belmonte e Guimarães, 2004). *Jidoka* permite aumentar a produtividade, a qualidade e a segurança dos trabalhadores (Bittencourt et al., 2011). O sistema *Andon* contribui também para o aumento da segurança dos colaboradores, uma vez que estes possuem autonomia para interromperem a tarefa (Bittencourt et al., 2011). Com o estudo de métodos de trabalho e com a redução de movimentos desnecessários e redução do esforço humanos, a Ergonomia contribui para a diminuição de desperdício. Esta associação entre Ergonomia e produção *Lean* potencializa ganhos de produtividade, melhora as condições de trabalho e reduz o absentismo dos trabalhadores (Colim et al., 2021).

2.2.2 A Problemática das LMERT

Existe uma lesão quando se verifica uma descontinuidade do tecido e, conseqüentemente, alteração na sua integridade e funcionamento mecânico. As partes do corpo mais afetadas são as costas, o pescoço, ombros e membros superiores (European Agency for Safety and Health at Work, 2007).

Os principais fatores presentes nas tarefas dos colaboradores que desencadeiam as LMERT são posturas inadequadas, necessidade de aplicação de força, velocidade e aceleração do movimento, repetição, duração, tempo de recuperação, esforço dinâmico pesado e vibração localizada (Forde et al., 2002). Estas condições associadas às características ambientais como calor, iluminação, ruído e ainda a fatores adicionais como o stress, organização do trabalho e carga de trabalho, potenciam a ocorrência destas lesões (Cardoso Junior, 2006).

Os custos associados às LMERT podem ser divididos em custos diretos e indiretos. Os custos diretos referem-se às indenizações pagas aos trabalhadores que sofrem de LMERT, enquanto os custos indiretos dizem respeito à diminuição da produtividade, substituição dos trabalhadores e formação dos trabalhadores substitutos (Santos, 2009).

Em 2015, aproximadamente três em cada cinco trabalhadores da União Europeia relataram LMERT e queixas nas costas, membros superiores e/ou membros inferiores (Jan de Kok et al., 2019).

2.2.3 Métodos de Avaliação de Risco de LMERT

De acordo com a Diretiva do Conselho Europeu 89/391 / CEE de 12 de junho de 1989 (Conseil des Communautés Européennes, 1989), o empregador deve realizar uma avaliação dos riscos para a segurança e saúde do trabalho, o que demonstra a importância da preservação da saúde e do bem-estar dos colaboradores das empresas. Uma avaliação de risco é fundamental para implementar estratégias de prevenção na zona de trabalho e para reduzir a exposição dos trabalhadores a condições prejudiciais para a sua segurança e saúde (Andre Klussmann, Liebers, Gebhardt, et al., 2017).

Estes métodos de avaliação de risco de LMERT dividem-se em três categorias principais: métodos de autoavaliação, métodos observacionais e métodos diretos (David, 2005). Dentro dos métodos observacionais ainda é possível referir os métodos observacionais avançados. A complexidade dos métodos difere, sendo os primeiros referidos os de menor complexidade e os últimos de maior complexidade. Da mesma forma, a especificidade dos resultados segue a mesma ordem, sendo menor nos métodos de autoavaliação e maior nos métodos de medição direta (Colim, 2009).

Métodos de Autoavaliação

A avaliação da exposição aos fatores de risco de LMERT pode ser efetuada através de questionários preenchidos pelos trabalhadores, normalmente através de registos escritos. Os questionários são apelativos devido à sua relativa facilidade de utilização e baixo custo (Santos, 2009). Entre outras, podem ser referidas algumas técnicas de autoavaliação, como a avaliação do desconforto postural (Corlett e Bishop, 1976) e o Questionário Nórdico (Kuorinka et al., 1987), que se foca na sintomatologia musculoesquelética ao longo das diferentes zonas corporais. As desvantagens deste tipo de avaliação é que a informação resultante pode ser influenciada por fatores ambientais e pessoais (Marras, 2006) e a perceção de exposição, por parte dos trabalhadores, tende a ser menos precisa (David, 2005).

Métodos Observacionais

Entre os métodos observacionais utilizados em estudos ergonómicos, destacam-se a observação direta, as fotografias e a gravação de vídeo (Campos e Garcia, 2008). Estas técnicas de avaliação têm a vantagem de serem pouco dispendiosas, podendo mais facilmente realizar a avaliação em contextos reais de trabalho (David, 2005). Dos métodos observacionais referidos, o mais exato e preciso é o de observação direta (Campos e Garcia, 2008). No caso da fotografia ou da captação e vídeo, as posições estratégicas a serem adotadas devem aproximar-se o máximo possível da observação direta (Genaidy et al., 1994). Ao longo dos anos foram desenvolvidos vários métodos observacionais, tais como o *Rapid Upper Limb Assessment (RULA)* (McAtamney e Nigel Corlett, 1993), o *Ovako Working Posture Analysing System (OWAS)* (Karhu et al., 1977) e o *Key Indicator Method (KIM)* (Röddecke e Schultz, 2013).

Para além dos métodos observacionais já referidos, outras técnicas de análise, com recurso a gravação de vídeo e computador, têm sido desenvolvidas. Alguns exemplos são o método *ARBAN* (Holzmann, 1982) e o método *Armstrong* (Armstrong, 1982), designados como métodos observacionais avançados (David, 2005). As principais vantagens destes métodos passam pela possibilidade de se poder registar movimentos de várias articulações simultaneamente e pela análise dos dados, com o auxílio de *softwares* sofisticado. A principal desvantagem está relacionada com os custos de aquisição destes *softwares* (Santos, 2009).

Métodos Diretos

Os métodos diretos de avaliação recorrem a sensores aplicados diretamente nos trabalhadores, para medir diversas variáveis relacionadas com os movimentos destes, durante as tarefas que realizam. Estes métodos proporcionam grandes quantidades de dados precisos, mas a aplicação de sensores no corpo do operador pode provocar desconforto e alterar o seu comportamento durante as tarefas (Santos, 2009). Além disso, acarretam custos elevados na aquisição do equipamento, geram grandes quantidades de dados e requerem técnicos qualificados para a sua utilização (David, 2005).

2.2.4 Método Observacional RULA

O método RULA foi proposto por McAtamney e Nigel Corlett (1993) para avaliação musculoesquelética dos membros superiores, em função da postura adotada, avaliando também a postura do pescoço, tronco e membros superiores. É um método que pode ser utilizado para um único trabalhador, bem como para um grande número de trabalhadores, é de aplicação rápida e não requer a utilização de equipamentos especiais (Cunha, 2018). Na aplicação deste método devem ser observados vários ciclos de trabalho e depois selecionada a postura que ocorre com mais frequência, ou a que representa uma maior sobrecarga física, por exemplo: maior força exercida (Colim, 2009). O RULA preconiza a avaliação do corpo humano em dois grandes segmentos: Grupo A e Grupo B (Anexo 1). No Grupo A, avalia-se o braço, antebraço e pulso. No grupo B avalia-se a postura do pescoço, tronco e pernas. Após a obtenção dos valores para os dois grupos, avalia-se o uso dos músculos e a carga suportada. No final, a junção das pontuações do grupo A e B resultam na pontuação final. Analisando esta pontuação final é possível descobrir o nível de ação a ser tomado, representados na Tabela 1.

Tabela 1 - Nível de ação requerido (adaptado).
(McAtamney e Nigel Corlett, 1993)

Nível de Ação	Descrição
1	Pontuação entre 1 e 2. Postura aceitável, se não mantida ou repetida por longos períodos de tempo.
2	Pontuação entre 3 e 4. Necessidade de investigação e podem ser necessárias mudanças no posto de trabalho.
3	Pontuação entre 5 e 6. Investigação e mudança do posto de trabalho devem ocorrer brevemente.
4	Pontuação de 7. Investigação e mudança do posto de trabalho necessárias imediatamente.

Na avaliação do grupo A, são consideradas diversas variáveis, tais como a extensão e flexão do braço, a flexão do antebraço, a flexão, extensão ou torção do pulso e a flexão do pescoço. No caso do grupo B é avaliada a flexão do tronco, o apoio das pernas e a posição dos pés, entre outros (Cardoso Junior, 2006).

2.2.5 Método Observacional KIM

O método KIM, desenvolvido pelo *Federal Institute for Occupational Safety and Health (BAuA)* e pelo *Committee of the German States for Occupational Safety and Health (LASI)*, permite avaliar seis tipos de atividades, sendo que novas versões do original foram desenvolvidas ao longo dos anos. Cada versão do KIM corresponde a um tipo de atividade, que pode envolver empurrar e puxar materiais, ou posturas corporais inadequadas. Através de uma ficha de avaliação, são avaliadas algumas características da atividade a ser estudada, como a sua frequência, carga e postura. No fim, essa avaliação resulta numa única pontuação que representa o nível de risco de exposição a sobrecarga física, que pode levar ao aparecimento de LMERT. O nível de risco obtido utilizando este método tem uma correlação estatisticamente significativa com a prevalência de LMERT (Andre Klusmann, Liebers, Gebhardt, et al., 2017).

Conforme mencionado, existem seis tipos de atividades que o método KIM pode avaliar: KIM - *Awkward Body Postures* (ABP); KIM - *Whole Body Forces* (WBF); KIM - *Body Movement* (BM); KIM - *Lifting, Holding and Carrying* (LHC); KIM - *Manual Handling Operations* (MHO) and KIM - *Pushing and Pulling* (PP) (Andre Klusmann, Liebers, Brandstädt, et al., 2017). Cada ficha de avaliação para esses seis tipos de atividades começa com uma visão geral e descrição do KIM específico, seguida por uma distinção de outras versões do KIM, de forma a garantir que o avaliador escolhe a folha certa para a atividade que pretende analisar. Por vezes, para determinadas atividades, pode ser necessário usar mais do que um KIM. Nesta seção da folha verifica-se se há essa necessidade. Para iniciar a avaliação, atribui-se uma pontuação ao tempo da atividade, relacionada com a sua frequência ou ao tempo despendido nessa atividade, num dia de trabalho. Em segundo lugar, determina-se a pontuação para os outros indicadores, que variam conforme o KIM que é utilizado, por exemplo: tipo de força, carga, postura, organização do trabalho, posição de mão braço, entre outros. Por fim, obtém-se a pontuação final, multiplicando a pontuação do tempo pela soma da pontuação dos outros indicadores. Esta pontuação indica o nível de risco de exposição a sobrecarga física, durante a atividade específica. O nível risco varia de 1 a 4 e seu significado está resumidamente representado na Tabela 2.

Tabela 2 - Nível de risco 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.

2.2.6 Método de Medição Direta *XSens MVN*

Nos últimos anos, o uso de sensores inerciais ou unidades de medição inercial tornou-se uma prática comum na avaliação do movimento humano (Silva et al., 2017). O *XSens MVN* é um sistema portátil de captura de movimento inercial, equipado com dezassete sensores inerciais sem fio. Cada sensor integra um acelerómetro 3D, um giroscópio 3D e um magnetómetro 3D e pode ser colocado ao nível dos pés, coxas, pernas, pélvis, ombros, esterno, cabeça, braços, antebraços e mãos, por meio de um fato de licra ou um sistema de fitas de velcro (Roetenberg et al., 2009). O sistema fornece informações de posição e ângulo, bem como parâmetros de aceleração e velocidade do corpo humano. Além disso, permite ajustar o modelo biomecânico às medidas do colaborado, de modo a calcular uma localização mais precisa entre os sensores e as referências ósseas. O *XSens* fornece também uma interface gráfica que permite processar os dados cinemáticos 3D recolhidos pelos sensores e construir um modelo biomecânico composto por 23 segmentos (pélvis, L5, L3, T12, T8, pescoço, cabeça, ombro esquerdo e direito, braços, antebraços, mãos, quadris, pernas, pés e dedos) (Roetenberg et al., 2009).

Na última década, a captura de movimento inercial foi usada em várias aplicações (Schepers et al., 2018). Blair et al. (2020) usou esta tecnologia para examinar a técnica de pontapear a bola no futebol australiano e determinar fatores técnicos associados à precisão. Wang (2020) usou o sistema para explorar as semelhanças e diferenças entre duas artes marciais chinesas. Em estudos recentes, essa tecnologia tem sido usada para perceber a carga física de algumas tarefas de trabalho. José (2015) utilizou o sistema para identificar os fatores de risco nas atividades de cultivo da mandioca e Maurer-Grubinger et al. (2020) examinou o movimento do copo humano ao realizar tarefas de aspiração.

Este sistema possui grande flexibilidade, garantindo a análise do movimento humano em tempo real e o fato de licra não interfere nos movimentos do corpo, sendo totalmente não invasivo (Wang, 2020; Cigrovski et al., 2020). É imune à oclusão e bloqueio de sinal (Silva et al., 2017; Wang, 2020). É adequado para qualquer ambiente, interno e externo (Wang, 2020; Schepers et al., 2018); mostra-se um sistema confiável, viável e de baixo custo (Silva et al., 2017; Zhang et al., 2013); é fácil de usar e economiza o tempo gasto na colheita de dados (Zhang et al., 2013; Wang, 2020). Dados quantitativos podem ser obtidos na forma de ângulos articulares, posições de segmento, velocidades e acelerações, o que permite que outros dados relevantes de interesse sejam obtidos (Schepers et al., 2018).

2.2.7 A Cronometragem como Técnica de Medida do Trabalho

Em Ergonomia importa realizar-se um correto estudo dos métodos e quantificação do trabalho. Neste âmbito, o estudo de tempos, ou cronometragem, é uma técnica de medida do trabalho por observação

direta e intensiva e consiste em registrar os tempos e as restantes condições de execução de uma dada tarefa, manual ou semiautomática; analisar os dados recolhidos e obter o tempo de execução a um nível de rendimento bem definido (Costa e Arezes, 2003). O estudo de tempos deve ser visto como um instrumento para auxiliar a deteção de problemas, e no aperfeiçoamento e acompanhamento do desempenho dos trabalhadores no sistema de produção (Ferreira et al., 2018). Existem sete passos fundamentais no estudo de tempos (Dos Santos Vieira et al., 2016):

1. Obter e registrar as informações reativas à operação e ao operador em estudo;
2. Dividir a operação em elementos;
3. Observar e registrar o tempo gasto pelo operador;
4. Determinar o número de ciclos a serem cronometrados;
5. Avaliar o ritmo do operador;
6. Determinar as tolerâncias;
7. Determinar o tempo padrão para a operação.

O método de estudo de tempos a utilizar deve ser cuidadosamente escolhido, explicado e consentido pela gestão e pelos trabalhadores da empresa. Para fins de pesquisa, a utilização de cronómetro para análise dos elementos é a maneira mais comum para realização do estudo (Ferreira et al., 2018). A precisão pretendida para o estudo deverá ser previamente definida e os trabalhadores a analisar devem ser selecionados entre os colaboradores a tempo inteiro da empresa e deverão estar motivados para o sucesso do estudo. As tolerâncias e correções atribuídas deverão estar corretamente definidas e os supervisores deverão ter conhecimento detalhado do estudo, antes deste ser explicado a todos os trabalhadores envolvidos (Costa e Arezes, 2003).

2.3 Robótica Industrial

No competitivo mercado de hoje, as empresas procuram meios para aumentar as vantagens competitivas para permanecerem no negócio (Hedelind e Jackson, 2011). O investimento em robôs industriais no processo produtivo observado nas últimas décadas, deve-se principalmente às crescentes necessidades impostas pelo mercado de se obter sistemas de produção cada vez mais automatizados e dinâmicos. Devido às características de flexibilidade de programação e adaptação a sistemas integrados de produção, o robô industrial tornou-se um elemento importante neste contexto (Campos e Garcia, 2008). A automação é uma tecnologia que se ocupa de sistemas mecânicos, eletrônicos e à base de computadores na operação de controlo de produção. Consequentemente, a robótica é uma forma de automação industrial (Lisboa, 2010). Os robôs industriais têm sido muito utilizados nos processos de

automação, pois são capazes de realizar diversos movimentos programados, adaptando-se às necessidades operacionais de determinadas tarefas (Garcia e Schincariol, 2019). Os robôs industriais são, de todos os equipamentos usados na automação industrial, aqueles que apresentam melhor índice de custo de produção por unidade de produto, em função do volume de produção, para pequenos e médios volumes de produção (Pires, 2015).

Segundo a *Association for Advancing Automation (A3)*, robô industrial é definido como um "*manipulador multifuncional reprogramável projetado para movimentar materiais, partes, ferramentas ou peças especiais, através de diversos movimentos programados, para o desempenho de uma variedade de tarefas*" (A3, 2021) Uma definição mais completa é apresentada pela norma ISO (*International Organization for Standardization*) 10218: 2011, que define o robô industrial como sendo: "*uma máquina manipuladora com vários graus de liberdade controlada automaticamente, reprogramável, multifuncional, que pode ter base fixa ou móvel para utilização em aplicações de automação industrial*". Estas características tornam os robôs equipamentos flexíveis por excelência, que se podem adaptar às mais diferentes tarefas. Esta flexibilidade aumenta a disponibilidade dos equipamentos robotizados para alterações significativas de tarefas e operações, o que é fundamental para responder de forma ágil a alterações de mercado ou à introdução de novos produtos (Pires, 2015).

2.3.1 História

Desde a sua origem, o ser humano procurou criar ferramentas e utensílios que o ajudasse nas suas tarefas do dia a dia, na altura relacionadas com a sua própria sobrevivência. (Galín et al., 2020; Garcia e Schincariol, 2019) A primeira referência explícita ao conceito de um dispositivo que auxiliasse o ser humano foi escrita por Aristóteles: "*se os instrumentos pudessem realizar as suas próprias tarefas, obedecendo ou antecipando o desejo das pessoas...*" (Garcia e Schincariol, 2019). O termo "*robota*" existe em várias línguas eslavas e o seu significado original é trabalho forçado, monótono, pesado ou escravo. (Wallén, 2008; Garcia e Schincariol, 2019). Mas o termo "*robô*" só surgiu em 1921, quando originalmente usado pelo dramaturgo checo Karen Capek, na peça teatral "*Os Robôs Universais de Russum (R.U.R)*", com estreia em Praga (Garcia e Schincariol, 2019; Wallén, 2008).

Na década de 40, o escritor Isaac Asimov tornou popular o conceito de robô como uma máquina de aparência humana, isenta de sentimentos e com comportamento definido a partir de programação feita por seres humanos (Garcia e Schincariol, 2019). O termo "*robótica*" foi introduzido por Asimov, como a ciência dedicada ao estudo de robôs, baseada em três leis fundamentais (Wallén, 2008; Garcia e Schincariol, 2019):

1. “Um robô não pode ferir um ser humano ou, por inação, permitir que um ser humano seja ferido”;
2. “Um robô deve obedecer às ordens dadas por seres humanos, exceto quando tais ordens entram em conflito com a Primeira Lei”;
3. “Um robô deve proteger sua própria existência, desde que tal proteção não entre em conflito com a Primeira ou Segunda Lei” (Asimov, 1942).

Numa festa em Connecticut, em 1965, George Devol e Joseph Engelberger, admirador de Asimov, cruzam-se. Desta união nasce a *Unimation*, que em 1961 instala, na linha de produção da *General Motors (GM)* em Trenton, o seu primeiro robô industrial, denominado *Unimate*, que ordenava e empilhava peças de metal forjado (Valério e Garcia, 2014; Garcia e Schincariol, 2019; Wallén, 2008). O computador digital na década de 50 e o circuito integrado na década de 70 foram duas invenções que revolucionaram a tecnologia utilizada na indústria. Com o desenvolvimento dos primeiros computadores, foi possível desenvolver “os cérebros” dos robôs industriais. O desenvolvimento de computadores mais potentes com circuitos integrados facilitou ainda mais o desenvolvimento da robótica (Wallén, 2008). A base tecnológica para os atuais robôs industriais foi desenvolvida a partir de pesquisas iniciadas logo após a Segunda Guerra Mundial (Garcia e Schincariol, 2019). Os primeiros robôs industriais eram pneumáticos e hidráulicos. Em 1968 veio o robô elétrico *Vicarm*. Os robôs pneumáticos e hidráulicos foram projetados para cargas pesadas e, portanto, não eram adequados para trabalhos de montagem. No final da década de 70 e início da década de 80, o desenvolvimento concentrou-se então principalmente na montagem. Assim, robôs com maior repetibilidade, aceleração e velocidade foram desenvolvidos para diminuir tempos de ciclo nos processos produtivos (Wallén, 2008). A utilização de robôs na indústria trouxe diversos avanços produtivos, permitindo a manufatura de produtos mais variados e complexos (Marques et al., 2020) e essa utilização continua a evoluir para atender às necessidades de automação atuais (Friis et al., 2016). Entre as mais importantes empresas que fabricam robôs industriais encontram-se: *ABB Robotics AB*, *Adept Technologies Inc.*, *Brown & Shape*, *COMAU SPA*, *FANUC LTD*, *Kawasaki Robotics Inc.*, *KUKA Roboter GmbH*, *Motoman Inc.*, *Stäubli AG* e *Sony Co* (Garcia e Schincariol, 2019).

2.3.2 Principais Aplicações de Robôs Industriais

Nos dias que correm, as aplicações de robôs industriais são focadas em tarefas repetitivas, de alta precisão, monótonas ou que exijam elevado esforço físico. (Barosz et al., 2020) A maioria das atividades relacionadas a robôs industriais em processos de produção envolvem operações de movimentação, processamento e controlo de qualidade (Garcia e Schincariol, 2019). As tarefas de movimentação, transporte e manipulação de materiais incluem a movimentação de peças entre posições definidas, o

transporte de peças entre diferentes localizações, o abastecimento e recolha de peças e a paletização. O transporte de componentes, ou materiais, é uma aplicação ideal para um robô industrial. É normalmente uma tarefa repetitiva e que requer pouca complexidade. Para poder transportar os materiais ou componentes, o robô é equipado com uma garra na sua parte terminal. A garra deve ser projetada para os componentes atendendo à forma, peso e material dos mesmos. Uma aplicação básica deste tipo de aplicações é um simples sistema de “*pick and place*”, onde um robô pega num componente e o deposita numa nova posição (Abreu, 2001; Garcia e Schincariol, 2019). Tarefas de processamento realizadas por robôs industriais incluem a soldagem por resistência elétrica ou a arco, a fixação de circuitos integrados em placas, a pintura e envernizamento de superfícies, a montagem de peças, o acabamento superficial, a limpeza através de jato de água e abrasivos, o corte através de *laser* ou jato de água, a fixação de partes com parafusos, deposição de cola, rebites e o empacotamento (Garcia e Schincariol, 2019). Relativamente ao controlo de qualidade, estas tarefas envolvem a verificação de componentes, subprodutos ou produtos, através da análise da sua conformidade com determinados critérios previamente definidos. Na utilização de robôs em operações de inspeção com sistemas de visão, o robô, ou manipula a câmara relativamente aos componentes ou produtos a inspecionar, ou manipula os componentes. Exemplos de aplicações que utilizam sistemas de visão incluem a análise dimensional, a verificação de acabamentos superficiais e a comprovação de operações de montagem (Abreu, 2001; Garcia e Schincariol, 2019).

2.3.3 Potencialidades e Desafios

Os robôs industriais modernos têm mobilidade semelhante à do ser humano e podem realizar várias atividades complexas, com a principal vantagem de que não se cansam, ao contrário dos colaboradores humanos (Barosz et al., 2020). Barosz et al (2020) resumem nos seus estudos que, graças à robotização, muitas empresas obtiveram um aumento de produtividade em 30%, uma redução do custo de produção em 50% e um aumento de utilização em mais de 85%. Lisboa (2010) destaca que a robótica tem possibilitado às empresas a redução de custos com os colaboradores e um significativo aumento na produção. Garcia e Schincariol (2019) referem que a robótica industrial permite reduzir custos de produção, aumentar a produtividade, e melhorar a utilização da matéria-prima, com um aumento da qualidade. Referem ainda que este tipo de automação permite melhorar as condições de trabalho do ser humano, melhorar a qualidade do produto, através do controlo mais racional dos parâmetros de produção e realizar atividades impossíveis de serem controladas manualmente ou intelectualmente. Şahin (2020) resume que os robôs industriais aumentam a produtividade em aproximadamente 50%

(MHI, 2021), e que os custos de investimento inicial são recuperados dentro de um ano, em média, com uma diminuição do custo de produção de aproximadamente 60%. A produção robótica reduz a taxa de erro ao mínimo, enquanto aumenta a qualidade, a taxa de produção e a procura por trabalhadores qualificados (International Federation of Robotics, 2017). Valério e Garcia (2014) afirmam que a robótica permite criar novos postos de trabalho, aumentar a produtividade e a segurança do trabalhador. Em geral, os robôs industriais são usados para reduzir custos, aumentar a produtividade, melhorar a qualidade do produto e eliminar tarefas prejudiciais (Wallén, 2008).

Contudo um dos assuntos que gera bastante polémica em torno da robótica industrial é o seu efeito na empregabilidade. Şahin (2020), após a análise de diversos textos, conclui que o emprego é afetado de forma diferente em diferentes estágios. A curto prazo, é criado emprego em pequena escala e apenas para mão-de-obra qualificada, enquanto a procura por trabalhadores não qualificados diminui (International Federation of Robotics, 2017). A longo prazo, o emprego aumenta devido à expansão da produção. Atualmente, a população dos países desenvolvidos está a diminuir e a envelhecer ao mesmo tempo. Os robôs apresentam uma solução para a escassez de mão-de-obra jovem e qualificada. No entanto, a relação entre o desemprego e robôs ainda não é clara. Para o trabalhador do chão-de-fábrica, o aumento do uso de robôs na produção pode levar ao desemprego. Mas no geral, os robôs podem trazer novas tecnologias e desenvolver as indústrias noutras áreas que podem criar novos postos de trabalho. Muitos dos robôs instalados assumem trabalhos difíceis, monótonos ou perigosos. Se os novos empregos criados pela robótica forem melhores, a qualidade de vida no trabalho será melhorada. Quando os robôs realizam tarefas simples e monótonas, o colaborador pode ter um trabalho mais variado e fazer melhor uso das suas habilidades (Wallén, 2008).

Relativamente à produtividade, esta é a base para a competitividade e, portanto, o foco nos desenvolvimentos ao redor dos sistemas de produção (Bjorkelund et al., 2011). A robótica é apenas uma das diversas tecnologias disponíveis para automatizar e melhorar a produção. O conceito de “produtividade” é complexo, depende de muitos fatores que interagem entre si e, portanto, os robôs sozinhos não podem melhorar a produtividade (Wallén, 2008). Para se atingir níveis de produtividade elevados, é necessário ter informação detalhada, e em tempo-real, do que está a acontecer. Quem desenvolve equipamentos necessita de ter noção clara da maneira como se organizam as empresas modernas, de forma a adaptar os seus equipamentos para trabalharem neste tipo de ambientes, permitindo uma exploração exaustiva das suas capacidades (Pires, 2015).

Relativamente à conciliação entre robótica industrial e os princípios e práticas da produção *Lean*, é necessário o desenvolvimento de células de trabalho robotizadas com soluções que proporcionem maior

disponibilidade, redução dos tempos de *setup*, melhoria da capacidade de reconfiguração e apresentação clara de informações visuais aos operadores. À medida que os sistemas de produção se tornam cada vez mais complexos, com a introdução de sistemas controlados por computador, torna-se cada vez mais importante fornecer aos colaboradores os meios para obter informações sobre o estado atual do sistema. Se uma empresa insiste em ter uma estratégia de automação tradicional, em que robôs industriais são comprados e integrados sem uma estratégia bem pensada, será mais difícil trabalhar para a produção JIT, lotes pequenos e melhoria contínua (Hedelind e Jackson, 2011).

É fundamental, em todas as fases de implementação de sistemas robóticos, que os operadores estejam envolvidos. Tal envolvimento irá permitir-lhes obter uma maior compreensão e conhecimento do robô, tornando o sistema mais transparente e compreensível. Os principais facilitadores deste envolvimento são a participação do operador na implementação, a comunicação da mudança, o compromisso e apoio visíveis da alta administração ao projeto e o fornecimento de formação aos colaboradores. Em suma, um programa de treino e formação inicial, antes da implementação do sistema robótico, pode ser usado como uma estratégia para aumentar a consciência dos operadores sobre a capacidade e limitações do robô e ajudar a comparar as percepções dos operadores com as capacidades reais do sistema (Charalambous et al., 2016).

2.3.4 Robótica Colaborativa

Apesar da rápida integração dos sistemas automatizados nos processos de produção, uma quantidade significativa de trabalho de montagem ainda requer a flexibilidade de um operador humano, tornando o elemento humano uma parte vital da cadeia de produção. Em tais processos, não é viável nem económico introduzir a automação completa (Charalambous et al., 2016). Os fabricantes de hoje enfrentam crescentes pressões de custo, crescente diversidade de produtos e procuras flutuantes. Para estarem preparados para esta era, os sistemas de produção devem ser flexíveis e automatizados (Velooso et al., 2015). Os robôs modernos vão para além de uma zona de trabalho separada e começam a trabalhar em conjunto com os humanos (Galim et al., 2020) (Figura 2). Apesar dos robôs industriais tradicionais serem valiosos na indústria de hoje, existem tarefas que não são facilmente robotizadas, devido à sua complexidade ou variabilidade. Para superar essa limitação, foi explorada a ideia de diminuir a distância entre o robô e o operador, a fim de criar um espaço colaborativo, onde a consistência e precisão do robô são complementadas pela flexibilidade e rápida tomada de decisão do operador (Faria et al., 2020). Combinar as vantagens de trabalhadores humanos e robôs industriais leva ao desenvolvimento da colaboração humano-robô (*human-robot collaboration*, em inglês - HRC). A

implementação bem-sucedida de HRC pode aumentar a eficiência, produtividade e qualidade, enquanto reduz os custos operacionais, uma vez que a fraqueza de um parceiro pode ser compensada pelos pontos fortes do outro (Charalambous et al., 2016). Com o desenvolvimento da tecnologia, a HRC possui um enorme potencial para empresas de todas as dimensões e setores da economia (Galín et al., 2020). Robôs colaborativos, ou *cobots*, são projetados especificamente para interação direta com o ser humano dentro de um espaço de trabalho colaborativo definido, ou seja, um espaço de proteção onde o robô e um humano podem realizar tarefas simultaneamente, durante uma operação automática (Pazienza et al., 2019). O conceito de *cobot* e os primeiros projetos foram desenvolvidos no Laboratório de Sistemas Mecânicos Inteligentes da *Northwestern*, com financiamento da *General Motors* (Akella et al., 1999). Hoje em dia já existem várias empresas a produzir estes robôs, tais como a *FANUC*, *KUKA*, *Universal Robots* e *Rethink Robotics* (Galín et al., 2020). A procura global por *cobots* cresce a cada ano, e no futuro estes serão a principal ferramenta dos sistemas de produção. Isso ajudará a otimizar os processos, reduzir os custos de produção e aumentar a produtividade (Galín et al., 2020).

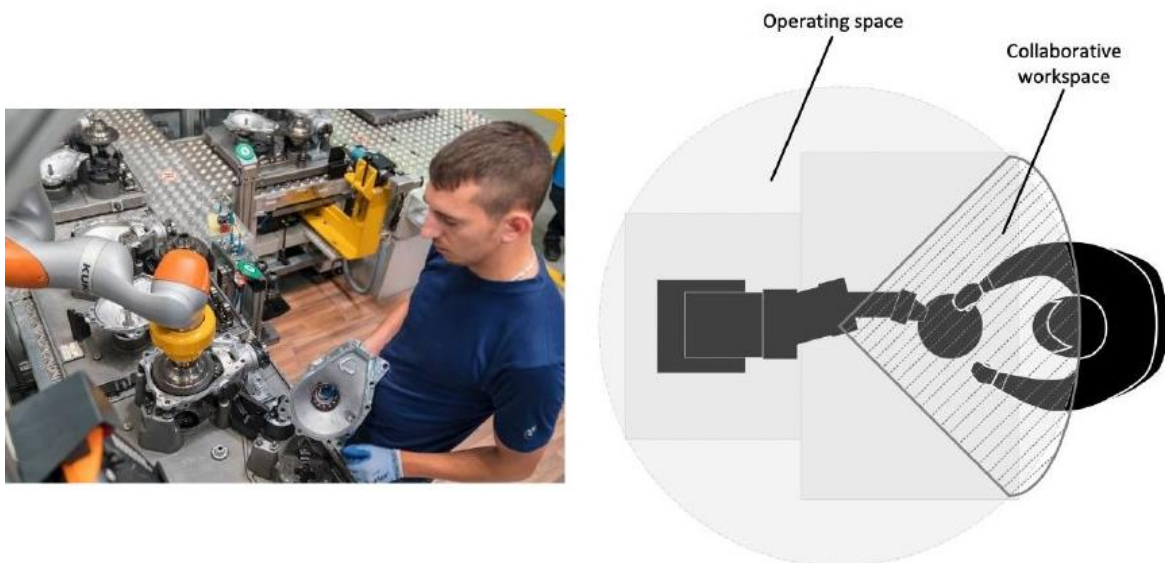


Figura 2 – Robô colaborativo em proximidade com o colaborador.
(Galín et al., 2020)

Os *cobots* apresentam as seguintes características: capacidade de interagir em segurança com o ser humano, redução do risco nas tarefas de implementação, flexibilidade e aprendizagem, possibilidade de ampla utilização e rápido ajuste. Isto acontece porque os robôs são fáceis de programar e instalar no local de trabalho. Diferentes sensores a bordo do *cobot* e seu *software* possibilitam a autoaprendizagem (Galín et al., 2020; Veloso et al., 2015). Estes robôs podem ainda navegar de forma autónoma nos

diversos tipos de espaço interior, incluindo corredores, elevadores, e espaços com mobiliário móvel e pessoas (Veloso et al., 2015). Para isso, utilizam um sistema de visão e de navegação que desempenha um papel importante no processo de criação de ambientes colaborativos entre humanos e robôs. Sistemas desse tipo facilitam as tarefas de controlo de qualidade do produto. O *cobot*, através do uso de uma câmara, é capaz de adquirir imagens e através do uso de algoritmos de Visão Computacional, reconhecer exatamente o objeto a ser selecionado, sem saber com antecedência a sua posição (Pazienza et al., 2019). Os *cobots* acessíveis e fáceis de usar permitem a automação em áreas antes consideradas complexas ou dispendiosas. Trazem muitos benefícios ao chão-de-fábrica, tais como produção otimizada, ambiente de trabalho aprimorado, com os colaboradores humanos a serem libertados para tarefas mais gratificantes, maior competitividade e melhores condições ergonómicas (Veloso et al., 2015; Marques et al., 2020). Em relação aos robôs industriais tradicionais, a robótica colaborativa destaca-se, uma vez que, além do custo reduzido do robô, em relação aos modelos tradicionais, são necessárias menos alterações do ambiente produtivo, o que diminui os gastos com a sua instalação (Marques et al., 2020). Os padrões para avaliar a eficácia do sistema colaborativo baseiam-se em cenários onde o plano de operação é seguido perfeitamente. Contudo, variáveis como colisões ou aproximações inesperadas com o robô podem alterar parâmetros importantes do procedimento, o que pode afetar negativamente a eficiência do processo (Marques et al., 2020).

O estudo dos fatores humanos no processo de interação entre um ser humano e um robô permite entender quais as medidas que devem ser tomadas para garantir a segurança e produtividade no ambiente de trabalho. É necessário envolver o colaborador em todo o processo de implementação, bem como providenciar formações para a compreensão do *cobot*, por parte do operador humano (Colim et al., 2020). A ausência deste envolvimento pode levar à falta de confiança no robô, por parte do colaborador, o que leva a diminuição da eficiência da HRC. Além disso, a falta de compreensão do funcionamento do robô pode originar lesões e acidentes no local de trabalho. Por outro lado, a uma perceção positiva do robô colaborativo podem estar relacionados aumentos de produtividade (Galim et al., 2020). No entanto, a proximidade humano/robô e a atribuição de tarefas híbridas levantam questões sobre a segurança dos operadores. Além disso, os ambientes compartilhados, não estruturados e dinâmicos apenas aumentam a complexidade do processo de avaliação de risco (Faria et al., 2020). Um aspeto fundamental para a implementação de atividades colaborativas é a garantia da segurança (Marques et al., 2020). A interação entre robôs e trabalhadores humanos pode ser classificada de acordo com cinco categorias, conforme o nível de interação (Marques et al., 2020):

1. Célula: O robô é operado numa cela tradicional, com proteção;
2. Coexistência: o robô é livre da cela, mas não partilha o local de trabalho com o colaborador humano;
3. Sincronizado: o robô e o trabalhador humano compartilham o local de trabalho, mas somente um está presente no local de trabalho em cada momento;
4. Cooperação: o robô e o trabalhador humano compartilham o local de trabalho no mesmo momento, mas não trabalham no mesmo produto simultaneamente;
5. Colaboração: o robô e o trabalhador humano trabalham simultaneamente no mesmo local de trabalho e no mesmo produto.

Agências regulatórias, como a *International Organization for Standardization* (ISO), a *Canadian Standards Association* (CSA) ou o *American National Standards Institute* (ANSI), desenvolveram normas direcionadas ao projeto e desenvolvimento de sistemas de robôs e, mais recentemente, normas que visam especificamente robôs colaborativos (Faria et al., 2020). As diretrizes definem um conjunto de obrigações juridicamente vinculativas para fabricantes e vendedores, que favorecem a integração de parâmetros de segurança durante a fase de projeto. Os sistemas robóticos disponíveis na Europa devem ser ratificados de acordo com a Diretiva de Máquinas (2006/42/CE) e a Diretiva de Equipamento de Trabalho (2009/104/CE). As Normas Internacionais desempenham um papel fundamental no estabelecimento da linha de base para o que constitui as melhores práticas no comportamento do sistema seguro e na metodologia de *design*. A ISO 10218:2011 especifica os requisitos para a operação de robôs colaborativos, como a necessidade de uma indicação visual enquanto o robô está em operação colaborativa. Tendo em vista a atualização do estado da arte, a norma técnica ISO/TS 15066:2016 foi desenvolvida. Essa especificação tem o objetivo de tornar a avaliação de risco apresentada na norma ISO 10218:2011 mais razoável, por meio da indicação de limites para a força e velocidade dos robôs. A ISO/TS 15066:2016 é formada pelas seguintes seções: identificação geral de perigos e avaliação de risco, requisitos para a aplicação de sistemas de robôs colaborativos e a distinção entre diferentes modos de operação (Marques et al., 2020; Faria et al., 2020). Ainda de forma a garantir a segurança do colaborador, a ISO 15066:2016 define quatro abordagens (Figura 3) que permitem a proximidade entre o *cobot* e o colaborador humano (Faria et al., 2020):

1. Safety Rated Monitored Stop (SRMS): O operador e o robô podem coexistir no mesmo espaço, embora não operem no espaço de trabalho colaborativo ao mesmo tempo. Se o perímetro de proteção for violado, uma parada monitorizada interrompe o movimento do robô;

2. Hand Guiding (HG): Este modo é uma extensão do anterior, funcionando com base na mesma premissa, só que desta vez, o sistema também compreende um dispositivo de orientação manual, para manobrar diretamente o robô, quando o operador está dentro do perímetro de segurança;
3. Speed and Separation Monitoring (SSM): Este modo permite que o robô e o operador se movam simultaneamente dentro do espaço de trabalho colaborativo. Um dispositivo de rastreamento monitoriza continuamente as distâncias entre as partes perigosas do sistema robótico e qualquer pessoa dentro do espaço colaborativo. A velocidade de operação do robô é proporcional à distância;
4. Power and Force Limitation (PFL): É o único modo colaborativo que permite o contato entre robô e operador. Em vez da separação, a redução do risco é alcançada por sistemas de controlo de segurança que mantêm os perigos abaixo de um limite. Isso inclui medidas passivas, tais como maior área de superfície de contato por meio de suavização de bordas, preenchimento ou peças deformáveis e limitação de massas em movimento, e inclui também medidas ativas no sistema de controlo do robô, por exemplo limitação de torque e força e uso de eixos flexíveis.

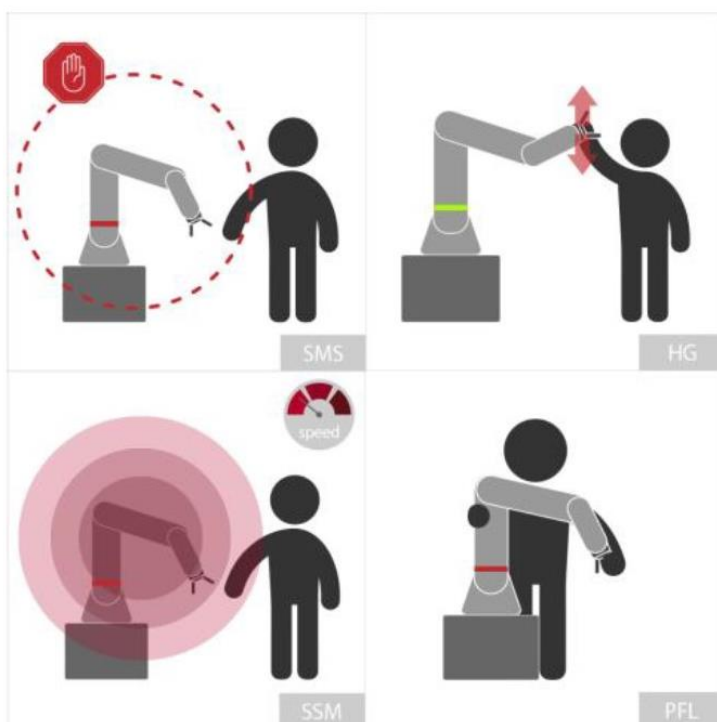


Figura 3 - Diferentes abordagens de operação colaborativa.
(Faria et al., 2020)

3. DESCRIÇÃO DO PROJETO

Neste capítulo será apresentado o DTx - Colab, a associação onde o Estágio Curricular em que a presente dissertação se enquadra foi realizado, bem como a empresa parceira do projeto. Seguidamente será apresentado o projeto que motivou esta dissertação.

3.1 DTx - Laboratório Colaborativo para a Transformação Digital e Empresa Parceira

Esta dissertação enquadra-se num Estágio Curricular efetuado no DTx (Figura 4), situado na Universidade do Minho, no campus de Azurém. O DTx é uma associação sem fins lucrativos, que conta com dezoito membros associados, que incluem três universidades, treze empresas, um laboratório internacional e ainda um centro de engenharia e inovação. Esta associação tem cinco objetivos principais que são: o desenvolvimento de novas abordagens holísticas nos sistemas ciberfísicos; o desenvolvimento de novos métodos de avaliação da criação de valor; a avaliação dos impactos económicos, sociais e jurídicos destes sistemas; a avaliação da eficácia da ecologia digital e a promoção da cooperação entre academia e indústria (*DTx-Digital Transformation Colab*, 2021).



Figura 4 - Logótipo do DTx.

A Missão do DTx é “*criar soluções inovadoras para a transformação digital, a partir da criatividade e do conhecimento, dando resposta às necessidades dos Associados e da sociedade, gerando valor económico e social em Portugal, incluindo emprego qualificado*”. A sua Visão passa por “*ser parceiro de referência da inovação e da transformação digital dos seus Associados, através do conhecimento, competência, qualidade e paixão no desenvolvimento de sistemas e outras soluções inteligentes*”. Já os valores pelos quais o DTx rege a sua atividade são as pessoas, a criatividade, o trabalho colaborativo e em equipa, a ética e a integridade, e bem-estar da sociedade e dos seus Associados (*DTx-Digital Transformation Colab*, 2021).

O trabalho desenvolvido ao longo desta dissertação resulta de um projeto do laboratório DTx com uma empresa de fabrico e venda de mobiliário, que tem como objetivo o desenvolvimento de um novo posto de trabalho com robótica colaborativa na secção de Montagem de *frames* da empresa. A empresa em questão iniciou trabalhos na década de 40, como resposta à necessidade de praticar um *design*

democrático nos seus produtos, o que significava criar produtos funcionais, com um bom *design* e a preços baixos. A presente dissertação realizou-se na fábrica da marca, no Norte de Portugal, que abriu portas em 2007 e emprega 1330 funcionários.

3.2 Descrição do Projeto

No âmbito de um projeto de investigação envolvendo uma indústria de mobiliário e o DTx, será desenvolvido um novo posto de trabalho com robótica colaborativa, que visa atenuar o risco de ocorrência de LMERT. Deste projeto emergem diferentes desafios no domínio da Engenharia e Gestão Industrial, como por exemplo: definição de requisitos ergonómicos para a nova célula de trabalho e avaliação do impacto desta na produtividade e nas condições de trabalho da empresa. Este trabalho foca-se na zona de Montagem da empresa, mais especificamente na montagem de *frames* de HDF (*high density fiberboard*) e no processo produtivo que lhe antecede. A montagem de *frames* segue dois caminhos possíveis, o da montagem manual e o da montagem automática, pelo que o foco deste trabalho reside na montagem automática.

3.2.1 O Produto

Como referido anteriormente, o foco deste trabalho reside na montagem de *frames* de HDF, elementos estruturantes de tampos de mesa e secretárias. Alterações na empresa, levaram à instalação de uma máquina, a *Master Frame*, para proceder à montagem automática destas peças, ao invés da montagem manual, recorrendo a tabuleiros de montagem. Sendo esta uma fase de transição, a máquina encontra-se em fase de testagem. Deste modo, este trabalho foca-se nas três referências que a máquina produz no momento: referência KT, referência KS e referência LT, representadas na imagem em baixo.

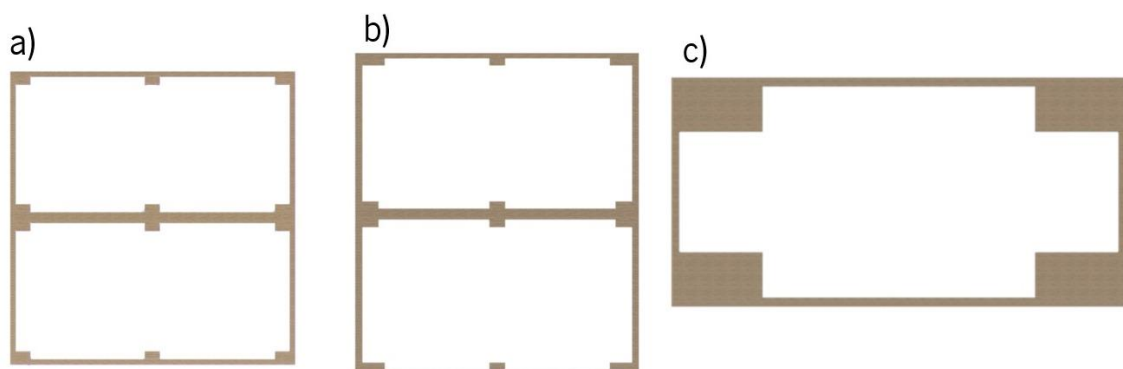


Figura 5 - Referências KT (a), KS (b) e LT (c).

Na tabela seguinte, estão discriminados os diferentes componentes que compõe as referências mencionadas, que são pré-montados sobre a forma de ripas simples (com cubos só de um lado), duplas (com cubos dos dois lados) ou sem cubos, antes de chegarem à estação da *Master Frame*.

Tabela 3 - Componentes das frames, para cada referência.

Referências	Componentes
KT	2 ripas de 792x32x13,5 mm
	2 ripas de 742x32x13,5 mm
	1 ripa de 742x32x28 mm
	12 cubos de 40x32x22 mm
KS	2 ripas de 786x32x13,5 mm
	2 ripas de 667x32x13,5 mm
	1 ripa de 667x32x28 mm
	4 cubos de 40x32x18 mm
	8 cubos de 55x32x18 mm
LT	2 ripas de 1204x29x25 mm
	2 ripas de 554x29x25 mm
	4 cubos de 220x120x29,3 mm

Na Figura 6, estão representadas as ripas simples, duplas e sem cubos, ripas estas que sofrem pré-montagem e abastecem a *Master Frame*.

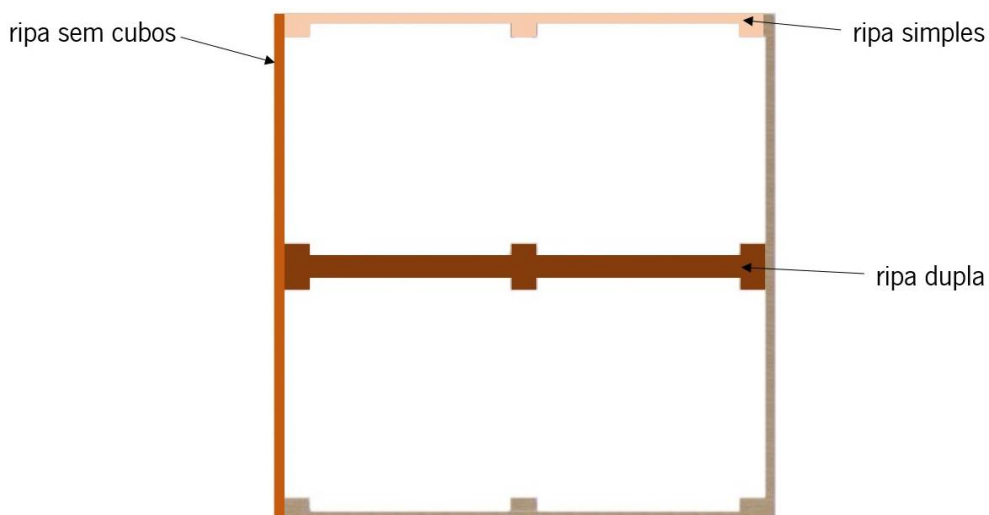


Figura 6 - Representação dos diferentes tipos de ripa que compõe uma *frame*.

Verifica-se que tanto as referências KT e KS são constituídas por duas ripas sem cubos, duas ripas simples e uma ripa dupla. Já a referência LT é composta por duas ripas sem cubos e duas ripas simples.

3.2.2 O Processo Produtivo e a *Master Frame*

Antes das ripas chegarem à *Master Frame*, onde são transformadas em *frames*, estas passam por outros processos ao longo da fábrica. Estes processos, adjacentes às referências mencionadas, foram alvo de estudo ao longo desta dissertação. A matéria-prima, placas de *HDF* de diferentes espessuras, começam por ser seccionadas em placas de menor dimensão na máquina *Shelling*. De seguida, caso as placas sejam utilizadas para produzir a referência LT, passam por uma Calibradora, caso contrário, seguem diretamente para a Multi-Serra. Nesta máquina, as placas já seccionadas uma vez, sofrem cortes adicionais, que as dividem em placas ainda mais pequenas. As máquinas seguintes são as *OMGAS*, que transformam estas placas de menor dimensão em ripas e cubos. Estas ripas e cubos abastecem a Pré-*Master Frame* onde sofrem uma pré-montagem e são transformadas em ripas simples e ripas duplas. Posteriormente, estas peças pré-montadas, bem como as ripas sem cubos abastecem a *Master Frame*, ou seguem para os tabuleiros de montagem manual. Como já referido, as *frames* são produzidas de duas formas distintas nesta fábrica, manualmente, ou de forma automática. Acontece que, a produção manual, que recorre a tabuleiros de montagem, além da elevada carga física que lhe está associada, não conseguia dar resposta à procura, daí a necessidade de instalar a *Master Frame* no chão-de-fábrica. A zona de pré-montagem da *Master Frame*, a Pré-*Master Frame* possui atualmente três linhas (Figura 7). Uma das linhas produz ripas simples para a referência KT e KS. Outra linha produz as ripas duplas também para as referências KT e KS. A última linha, produz as ripas simples, exclusivamente para a referência LT. Um braço robótico, instalado na zona de saída da Pré-*Master Frame*, recolhe as ripas simples e/ou duplas e alimenta a *Master Frame*, que procede em agregar as ripas recolhidas com ripas sem cubos, alimentadas lateralmente. Na imagem imediatamente a baixo, podemos ver, assinalado a verde, a linha 1, a vermelho a linha 2 e assinalado a azul a linha 3. Os locais destacados com as estrelas representam as zonas onde há recolha manual de peças pré-montadas, que seguem para os tabuleiros de montagem manual, zonas essas que serão a área de atuação da célula robótica a ser instalada.

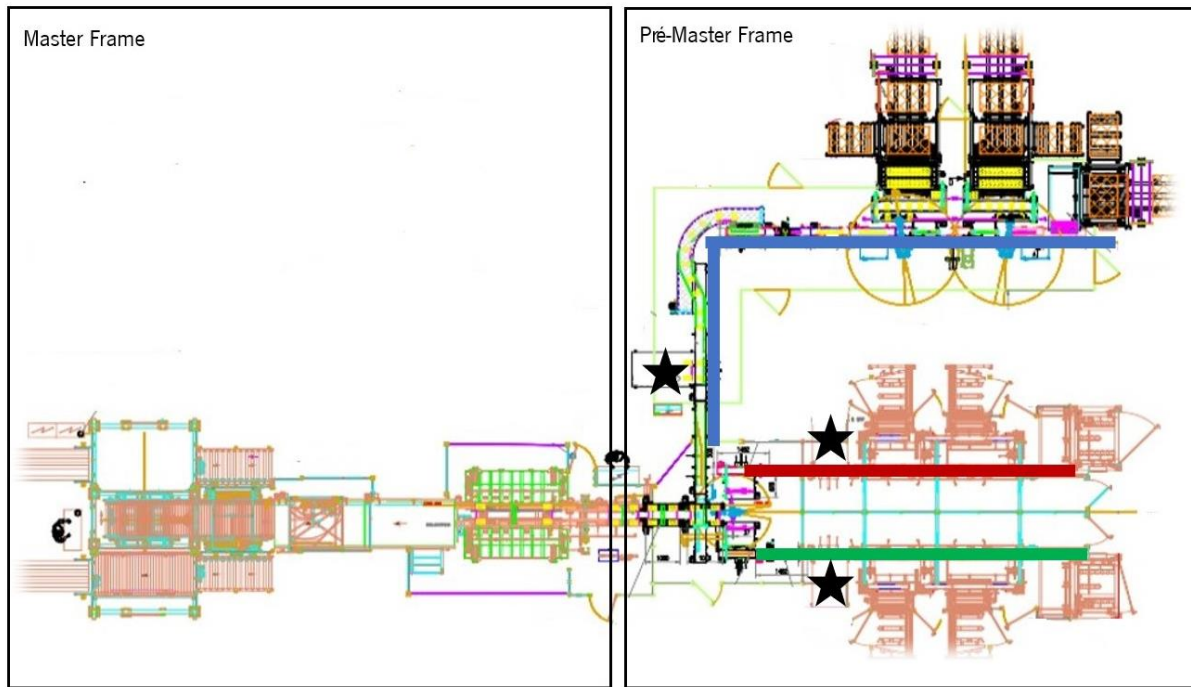


Figura 7 - Esquema da *Pré-Master Frame* e da *Master Frame*, com destaque para as três linhas e para os locais de recolha de peças pré-montadas.

Assim, quando as linhas 1 e 2 estão a produzir a referência KT ou KS e a alimentar a *Master Frame*, está um colaborador a retirar ripas simples da linha 3 para produzir referência LT manualmente nos tabuleiros de montagem. Na *Master Frame* estão sempre dois colaboradores a acompanhar o processo, que fazem pausas e almoçam alternadamente para não interromper o funcionamento da máquina. O gráfico da Figura 8 representa esta primeira situação descrita, durante meio turno (4 horas).

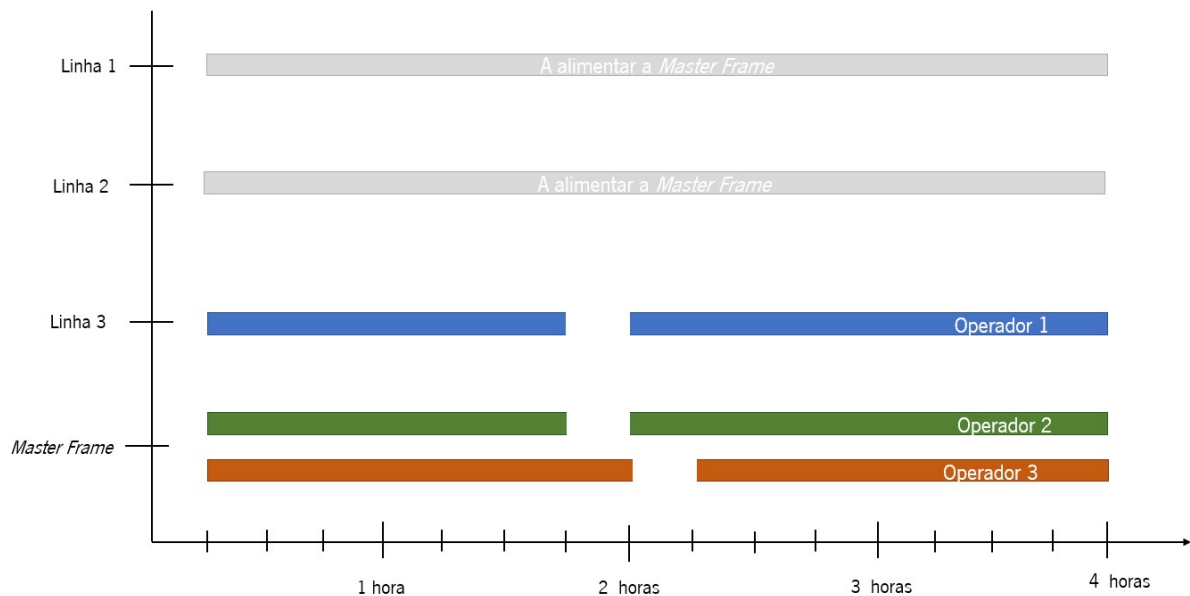


Figura 8 - Produção das referências KS e KT na *Master Frame* e recolha de ripas pré-montadas para a referência LT na linha 3.

Da mesma forma, quando a linha 3 está a produzir referências do tipo LT, é possível retirar ripas simples e duplas para produzir manualmente referências do tipo KT ou KS, ou seja, está um colaborador a retirar ripas simples da linha 1 e outro colaborador a retirar ripas duplas da linha 2 (Figura 9).



Figura 9 - Operadora a retirar manualmente as ripas duplas da linha 2 da pré-Master Frame.

Estes colaboradores fazem pausas alternadas. Novamente, temos dois colaboradores alocados à *Master Frame*. No gráfico da Figura 10 é possível visualizar esta situação, para meio turno (4 horas).

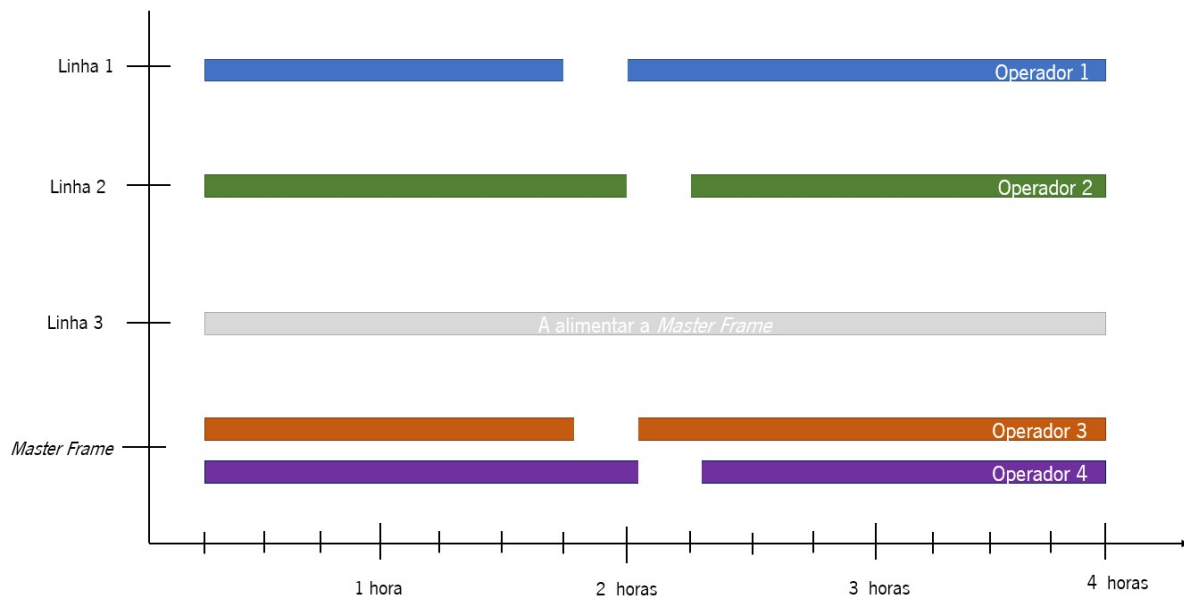


Figura 10 - Produção da referência LT na Master Frame e recolha de ripas pré-montadas para as referências KT e KS nas linhas 1 e 2.

Estas peças pré-montadas seguem para os tabuleiros de montagem manual, onde as operadoras só necessitam agora de finalizar a montagem. No procedimento normal, a colagem dos cubos às ripas é feita manualmente, com recurso a pistolas de cola quente.

Como referido, estas peças pré-montadas são retiradas da *Pré-Master Frame* e colocadas em paletes por colaboradores da empresa. Esta tarefa é bastante repetitiva e a postura adotada durante a mesma pode resultar em LMERT. Assim, a instalação do robô nesta secção de pré-montagem visa auxiliar os colaboradores na recolha de peças da máquina, bem como na sua colocação nas paletes. Desta forma, pretende-se atenuar o risco de LMERT associado a este PT, bem como libertá-los para tarefas menos exigentes do ponto de vista físico e mais estimulantes do ponto de vista cognitivo.

4. AVALIAÇÃO ERGONÓMICA DO POSTO DE TRABALHO INICIAL E ESTUDO DE TEMPOS

Numa fase de diagnóstico da situação inicial, foi realizada na estação *Pré-Master Frame* uma avaliação ergonómica e um estudo de tempos, que serão apresentados ao longo deste capítulo.

4.1 Avaliação Ergonómica

O principal objetivo desta avaliação reside na verificação da existência de risco de LMERT associado às atividades manuais realizadas neste posto. Para realizar esta avaliação, o método utilizado foi um método direto (David, 2005), com aplicação de sensores nos trabalhadores, para medir e registar os ângulos associados aos seus movimentos. Este método foi escolhido devido à precisão que fornece (Roetenberg et al., 2009). A tecnologia escolhida foi o *XSens MVN*, um sistema de captura de movimento, equipado com dezassete sensores inerciais que podem ser colocados ao nível dos pés, coxas, pernas, pélvis, ombros, esterno, cabeça, braços, antebraços e mãos, por meio um sistema de fitas de velcro, como representado na Figura 11.



Figura 11 - Colaborador equipado com os sensores, com o sistema XSens.

O sistema fornece informações de posição e ângulo, bem como parâmetros de aceleração e velocidade do corpo humano (Figura 12). Durante a visita agendada para este propósito, juntamente com o responsável de Segurança e Ergonomia da empresa, foi explicado ao colaborador alvo do estudo, o propósito da visita e o funcionamento da tecnologia. O sistema além de calcular ângulos, velocidades e acelerações, guarda também um vídeo representativo dos movimentos recolhidos, com recurso a avatares.

1	Frame	Pelvis x	Pelvis y	Pelvis z	L5 x	L5 y	L5 z	L3 x	L3 y	L3 z	T12 x	T12 y	T12 z	T8 x	T8 y	T8 z	Neck x	Neck y	Neck z	Head x	Head y	Head z	Right Shou
2	0	0,030547	-0,23298	-0,07569	0,021696	-0,07059	-0,09297	0,017762	-0,10065	0,013828	0,073749	-0,10832	0,010878	0,127878	-0,11408	-0,00364	0,235301	-0,04121	-0,03059	0,434801	0,094108	-0,30681	-0,2177
3	1	0,008018	-0,23425	-0,04231	0,018237	-0,06088	-0,08244	0,022778	0,016294	-0,10027	0,02732	0,093386	-0,11811	0,030726	0,151205	-0,13148	0,012375	0,233783	-0,07636	-0,02171	0,387144	0,026019	-0,19581
4	2	-0,02272	-0,23192	-0,01112	-0,00602	-0,03451	-0,03244	0,001406	0,048783	-0,04192	0,00883	0,132076	-0,0514	0,014308	0,194545	-0,0585	0,017035	0,248636	-0,06186	0,021932	0,349089	-0,06809	-0,19581
5	3	-0,06377	-0,21797	-0,00354	-0,03887	-0,03862	0,007553	-0,02781	0,041092	0,012486	-0,01675	0,120802	0,017418	-0,00845	0,180585	0,021117	0,012228	0,23376	-0,01289	0,050629	0,32514	-0,07604	-0,2551
6	4	-0,09854	-0,21399	-0,02655	-0,06494	-0,0441	0,022367	-0,05001	0,031413	0,044108	-0,03508	0,106922	0,06585	-0,02388	0,163554	0,082156	-0,00829	0,213487	0,049664	0,02067	0,306222	-0,01068	-0,28542
7	5	-0,12647	-0,22017	-0,03377	-0,09482	-0,04126	0,041534	-0,08076	0,03825	0,075002	-0,06669	0,117764	0,10847	-0,05615	0,177399	0,133571	-0,03526	0,220237	0,109016	0,003529	0,299793	0,063415	-0,22418
8	6	-0,13804	-0,22671	-0,02032	-0,10433	-0,08714	0,081297	-0,08935	-0,0251	0,126461	-0,07436	0,036931	0,171625	-0,06312	0,083457	0,205498	-0,0528	0,149356	0,164496	-0,03362	0,271741	0,08835	-0,05582
9	7	-0,0942	-0,25309	0,05328	-0,06657	-0,18032	0,115342	-0,05429	-0,14797	0,142926	-0,04201	-0,11563	0,170509	-0,03281	-0,09137	0,191196	-0,04033	0,009038	0,163879	-0,0543	0,195509	0,113147	0,180746
10	8	-0,00088	-0,13952	0,046373	0,104086	-0,16699	0,074322	0,020738	-0,1792	0,086744	0,02739	-0,19141	0,099166	0,032379	-0,20057	0,108482	0,013857	-0,11643	0,124653	-0,02054	0,039816	0,154683	0,359066
11	9	0,122056	-0,04408	-0,01099	0,10881	-0,12887	-0,00449	0,102923	-0,16655	-0,0016	0,097036	-0,20424	0,001293	0,092621	-0,2325	0,003462	0,072657	-0,22355	0,011635	0,035581	-0,20692	0,026814	0,57312
12	10	0,226036	0,051706	-0,09591	0,193935	-0,07725	-0,07944	0,179668	-0,13457	-0,07213	0,165401	-0,19188	-0,06481	0,1547	-0,23487	-0,05932	0,148813	-0,29691	-0,09175	0,13788	-0,41214	-0,15197	0,817392
13	11	0,29976	0,118829	-0,1766	0,249809	-0,06012	-0,11385	0,227608	-0,13965	-0,08596	0,205407	-0,21918	-0,05807	0,188757	-0,27883	-0,03715	0,188885	-0,36408	-0,12108	0,189124	-0,52241	-0,27696	0,927551
14	12	0,318456	0,15166	-0,21913	0,268439	-0,04141	-0,13237	0,246209	-0,12723	-0,09381	0,223979	-0,21304	-0,05526	0,207307	-0,27739	-0,02634	0,198846	-0,36899	-0,13188	0,183133	-0,53909	-0,32788	1,120081
15	13	0,283446	0,124172	-0,2088	0,261036	-0,05966	-0,15456	0,251076	-0,14136	-0,13045	0,241116	-0,22306	-0,10634	0,233646	-0,28434	-0,08826	0,226442	-0,34997	-0,15412	0,213066	-0,47185	-0,27642	1,234518
16	14	0,288681	0,165601	-0,24949	0,282634	-0,00685	-0,23547	0,279947	-0,0835	-0,22924	0,27726	-0,16014	-0,22301	0,275245	-0,21763	-0,21833	0,286522	-0,29245	-0,20887	0,307466	-0,4314	-0,19131	1,234634
17	15	0,347848	0,244225	-0,31597	0,298917	0,100614	-0,21878	0,277171	0,036787	-0,17558	0,255424	-0,02704	-0,13239	0,239114	-0,07491	-0,09999	0,303888	-0,18844	-0,13856	0,424183	-0,3993	-0,2102	1,323933
18	16	0,326067	0,23059	-0,20995	0,255107	0,130701	-0,12936	0,22357	0,086306	-0,09355	0,192032	0,041911	-0,05773	0,168379	0,008615	-0,03087	0,249649	-0,11443	-0,13239	0,400579	-0,34295	-0,32092	1,071663
19	17	0,297776	0,260127	-0,12198	0,237029	0,188234	-0,09044	0,21003	0,156281	-0,07641	0,183032	0,124328	-0,06239	0,162783	0,100364	-0,05188	0,213733	-0,02856	-0,16094	0,308354	-0,26799	-0,36347	1,028178
20	18	0,30139	0,323611	-0,0735	0,271587	0,242567	-0,12063	0,258341	0,206548	-0,14158	0,245095	0,170528	-0,16252	0,23516	0,143514	-0,17823	0,238045	0,026457	-0,22027	0,243402	-0,19093	-0,29835	0,865822
21	19	0,334689	0,404834	-0,05178	0,304482	0,281097	-0,12846	0,291056	0,226103	-0,16254	0,27763	0,171108	-0,19662	0,267561	0,129863	-0,22218	0,234698	0,030725	-0,26246	0,173666	-0,15339	-0,33727	0,666041
22	20	0,359045	0,481139	-0,02691	0,315582	0,357525	-0,09079	0,296265	0,302585	-0,11918	0,276949	0,247646	-0,14758	0,262461	0,206441	-0,16887	0,241518	0,058797	-0,25651	0,202634	-0,2154	-0,41927	0,358565
23	21	0,372229	0,566655	-0,02552	0,327061	0,447815	-0,07729	0,306987	0,394997	-0,09379	0,286913	0,342179	-0,1148	0,271857	0,302566	-0,13056	0,258682	0,106819	-0,25899	0,234214	-0,25671	-0,49795	0,413886
24	22	0,376591	0,628283	0,018999	0,339234	0,553163	-0,03561	0,32263	0,519777	-0,05987	0,306027	0,48639	-0,08414	0,295275	0,46135	-0,10225	0,25946	0,206936	-0,27316	0,196103	-0,26555	-0,59038	0,579161
25	23	0,380525	0,669539	0,064669	0,359682	0,599437	0,005729	0,350418	0,56828	-0,02047	0,341155	0,537124	-0,04666	0,334207	0,513757	-0,06631	0,253547	0,261287	-0,27386	0,103752	-0,20758	-0,65931	0,881661
26	24	0,372004	0,699951	0,127333	0,372873	0,62561	0,01833	0,37326	0,592569	-0,03012	0,373646	0,595929	-0,07856	0,373936	0,534748	-0,11489	0,259162	0,312951	-0,30827	0,046011	-0,09896	-0,66739	0,871036
27	25	0,388105	0,751512	0,149152	0,38988	0,666354	0,008213	0,390669	0,628507	-0,05443	0,391458	0,590659	-0,11707	0,39205	0,562273	-0,16405	0,270451	0,360283	-0,31046	0,044623	-0,01484	-0,58237	0,635791
28	26	0,450643	0,8063	0,124452	0,42581	0,713682	-0,01347	0,414773	0,672519	-0,07477	0,403736	0,631356	-0,13606	0,395459	0,600484	-0,18204	0,312691	0,413932	-0,29527	0,15898	0,064748	-0,50555	0,593684
29	27	0,489432	0,838227	0,082956	0,45092	0,729888	-0,05985	0,433803	0,681737	-0,22332	0,416686	0,633587	-0,1868	0,403849	0,597474	-0,2344	0,325902	0,40434	-0,35121	0,181143	0,045662	-0,56815	0,444947

Figura 12 - Exemplo do tipo de dados que a ferramenta permite recolher, neste caso a velocidade angular em cada *frame*.

Após a visita, foi necessário exportar os dados brutos e reprocessá-los. Com os ficheiros tratados e recorrendo à interface gráfica do *Xsens*, foi possível calcular as pontuações RULA associadas a cada tarefa. Após o *upload* dos ficheiros na plataforma disponibilizada pela ferramenta, foram analisados os vídeos recolhidos na empresa, em comparação aos vídeos elaborados pelo software com utilização de um avatar (Figura 13). Este passo permitiu sectionar os vídeos relativos às diferentes tarefas em elementos e analisá-los individualmente. Para cada elemento foi identificada a posição crítica, recorrendo a uma digrama contínuo de risco, obtido através da leitura dos movimentos do avatar. Obtidas as posições críticas para cada elemento, foram definidos alguns parâmetros como duração da tarefa, peso da carga e apoio das pernas. Finalmente, a pontuação RULA foi obtida para cada elemento.



Figura 13 - Avatar produzido pela ferramenta *Xsens*.

Como referido anteriormente, este posto possui zonas de recolha de ripas (Figura 14), que seguem para os tabuleiros de montagem manual, ao invés de alimentarem a *Master Frame*, para a montagem automática das *frames*.

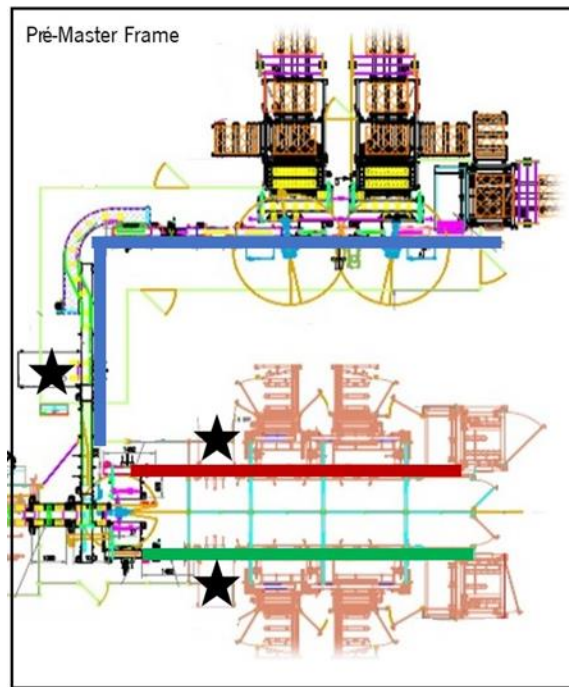


Figura 14 - Zonas de recolha de ripas da *Pré-Master Frame*.

Esta recolha de peças é realizada manualmente e é uma atividade repetitiva e que obriga a adoção de posturas inadequadas e prejudiciais à saúde dos colaboradores. Nesta análise foram avaliadas duas atividades, a recolha de ripas simples e a recolha de ripas duplas. Uma análise adicional foi feita ao abastecimento dos carrinhos de transporte com as ripas retiradas.

4.1.1 Recolha de Ripas Simples

Esta tarefa corresponde à recolha de ripas simples da *Pré-Master Frame*, e pode ser dividida em três elementos fundamentais, descritos em baixo:

1. Alcançar Peças: desde que o colaborador estica o braço para alcançar a peça fornecida pela máquina, até ao momento em que a tem próxima de si;
2. Marcar Peças com Giz: desde o momento que o colaborador alcança o giz, até ao momento que o pousa. Esta marcação serve para assinalar o turno que fabricou a peça, através de um sistema de três cores;
3. Colocar Peças na Paleta: desde o momento em que o colaborador pega na peça, até ao momento em que a pousa na paleta.

Recorrendo ao programa integrado no *XSens*, é possível fazer *upload* dos ficheiros a analisar e obter o cálculo automático do RULA, para as tarefas observadas. Desta forma, a título de exemplo, serão mostrados os *outputs* do programa para o primeiro elemento, bem como a análise detalhada dos

mesmos. As análises dos restantes elementos encontram-se no Apêndice 1. Um dos primeiros *outputs* que o programa fornece é um gráfico circular com a visão geral do risco durante toda a tarefa (Figura 15).

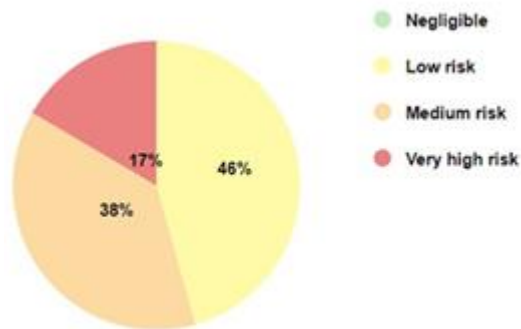


Figura 15 - Gráfico circular com a percentagem de risco associado à recolha de ripas simples.

Verifica-se então que durante a recolha de peças de ripas simples há sempre risco associado, quer de baixo, médio ou alto nível, sendo o primeiro nível o mais frequente. Quando nos focamos na posição mais crítica (Figura 16) associada ao elemento de alcançar as peças, obtemos uma pontuação RULA de 7 (Figura 17), correspondente a um nível elevado de risco de aparecimento de LMERT, o que implica a necessidade de introdução imediata de alterações no PT. A posição crítica neste elemento corresponde ao momento em que o colaborador estica o braço e ergue uma das pernas para alcançar a peça.



Figura 16 - Avatar obtido com recurso à ferramenta XSens, representativo da posição crítica no alcance de peças.

Nesta posição há flexão do braço entre os 0° e os 60° e adicionalmente abdução do mesmo, o antebraço encontra-se acima dos 90°. O pulso apresenta elevada inclinação e apresenta rotação. Nesta posição o colaborador tem o pescoço em extensão e a inclinação do tronco encontra-se entre os 0° e os 20°. Adicionalmente, o colaborador não tem ambas as pernas apoiadas, uma vez que necessita de erguer uma das pernas para alcançar as peças.

C. RULA score

1-2 negligible risk, no action required
 3-4 low risk, change may be needed
 5-6 medium risk, further investigation, change soon
7 very high risk, implement change now

Table C.		Neck, trunk and leg score						
		1	2	3	4	5	6	7+
Wrist and arm score	1	1	2	3	3	4	5	5
	2	2	2	3	4	4	5	5
	3	3	3	3	4	4	5	6
	4	3	3	3	4	5	6	6
	5	4	4	4	5	6	7	7
	6	4	4	5	6	6	7	7
	7	5	5	6	6	7	7	7
	8+	5	5	6	7	7	7	7

Figura 17 Pontuação RULA para posição crítica no alcance de peças.

O mesmo procedimento foi realizado para as posições críticas dos restantes elementos. É importante salientar que as posições escolhidas não são esporádicas, repetindo-se sempre que o elemento é executado. A pontuação RULA obtida para cada elemento encontra-se representada na Tabela 4:

Tabela 4 – Tabela resumo dos elementos da recolha de ripas simples, respetiva pontuação RULA e níveis de ação.

Elemento	Pontuação RULA	Nível de Ação
Alcançar Peças	7	4
Marcar Peças com Giz	5	3
Colocar Peças na Palete	6	3
Pontuação Final	7	4

Observando as pontuações RULA obtidas, conclui-se que o elemento “Alcançar Peças” é o que apresenta maior risco de aparecimento de LMERT para o trabalhador, com uma pontuação de 7. Desta forma, e de modo a proteger o colaborador, este será o nível de risco geral atribuído à tarefa. As medidas a tomar são a imediata investigação e alteração do PT.

4.1.2 Recolha de Ripas Duplas

Esta tarefa corresponde à recolha de ripas duplas (cubos colados dos dois lados) da *Pré-Master Frame*, e pode ser dividida em quatro elementos fundamentais, descritos em baixo:

1. Alcançar Peças: desde que o colaborador estica o braço para alcançar a peça fornecida pela máquina até ao momento em que a tem próximo de si;
2. Marcar Peças com Giz: desde o momento que o colaborador alcança o giz até ao momento que o pausa;

3. Mudar Orientação da Peça: desde o momento que o colaborador pega na peça e muda a sua orientação, até ao momento em que pousa a peça. Esta ação permite otimizar o espaço utilizado na palete, pousando as peças na palete com uma orientação diferente à que saiu da máquina;
4. Colocar Peças na Palete: desde o momento em que o colaborador pega na peça, até ao momento em que a pousa na palete.

Na Tabela 5 seguinte estão representadas as pontuações RULA obtidas para a posição crítica de cada elemento e respetivos níveis de ação. A análise detalhada de cada elemento está disponível no Apêndice 2.

Tabela 5 – Tabela resumo dos elementos da recolha de ripas duplas, respetiva pontuação RULA e níveis de ação.

Elemento	Pontuação RULA	Nível de Ação
Alcançar Peças	7	4
Marcar Peças com Giz	5	3
Mudar Orientação da Peça	4	2
Colocar Peças na Palete	6	3
Pontuação Final:	7	4

Assim como na recolha de ripas simples, e observando as pontuações RULA obtidas, conclui-se que o elemento “Alcançar Peças” é o que apresenta maior risco de aparecimento de LMERT, com uma pontuação de 7. Novamente, de modo a proteger o colaborador este será o nível de risco geral atribuído à tarefa. As medidas a tomar são a imediata investigação e alteração do PT.

4.1.3 Abastecimento do Carrinho de Transporte

Esta tarefa corresponde ao abastecimento do carrinho que transporta as ripas até aos tabuleiros, com as ripas colocadas nas paletes, e pode ser dividida em três elementos fundamentais:

1. Abastecer com Ripas sem Cubos: desde o momento em que o colaborador pega em ripas sem cubos das paletes, até o momento que as coloca no carrinho.
2. Abastecer com Ripas Simples: desde o momento em que o colaborador pega em ripas simples das paletes, até o momento que as coloca no carrinho.
3. Abastecer com Ripas Duplas: desde o momento em que o colaborador pega em ripas duplas das paletes, até o momento que as coloca no carrinho.

Na tabela seguinte estão representadas as pontuações RULA obtidas para a posição crítica de cada elemento e respetivos níveis de ação. A análise detalhada de cada elemento está disponível no Apêndice 3.

Tabela 6 - Tabela resumo dos elementos do abastecimento do carrinho de transporte, respetiva pontuação RULA e níveis de ação.

Elemento	Pontuação RULA	Nível de Ação
Abastecer com Ripas sem Cubos	7	4
Abastecer com Ripas Simples	7	4
Abastecer com Ripas Duplas	7	4
Pontuação Final	7	4

Observando as pontuações RULA obtidas, conclui-se que todos os elementos apresentam nível elevado de risco de LMERT, com uma pontuação de 7. Assim a pontuação geral da tarefa será naturalmente também o mais elevado. As medidas a tomar são a imediata investigação e alteração do PT.

4.1.4 Discussão

Após a avaliação ergonómica realizada no posto da *Pré-Master Frame*, quanto às tarefas de recolha de ripas simples e duplas foi possível concluir que ambas têm associado um risco elevado para o trabalhador. Tanto na recolha de ripas simples como na recolha de ripas duplas, a pontuação RULA obtida com auxílio da ferramenta *Xsens* foi de 7, o que corresponde a um nível de ação de 4, significando que devem ser introduzidas mudanças imediatas no PT. Além de ambas as tarefas, e respetivos elementos, serem repetitivas, por serem de curta duração e ocorrerem durante um turno de 8 horas, obrigam à adoção de posições inadequadas para a saúde dos colaboradores que as executam. O robô colaborativo, ao assumir estas tarefas, atenuará ou eliminará o risco associado às mesmas e libertará o colaborador para tarefas menos exigentes, do ponto de vista físico. A tarefa de abastecimento do carrinho de transporte com ripas, para os tabuleiros de montagem manual, também tem associada a si uma pontuação RULA de 7. Sugere-se a colocação do robô colaborativo, aproveitando a sua instalação no PT, a abastecer diretamente os carrinhos de transporte, ao invés das ripas serem colocadas primeiro em paletes e só posteriormente colocadas nos carrinhos por colaboradores humanos.

4.2 Estudo de Tempos no Posto Manual

Com o objetivo de caracterizar a situação atual e para posteriormente perceber o impacto da implementação do sistema colaborativo, foi realizado um estudo de tempo por cronometragem, com o

objetivo de obter os tempos-padrão da recolha manual das ripas fornecidas pela *Pré-Master Frame*. Neste subcapítulo será apresentado o estudo de tempos realizado, percorrendo as suas diferentes etapas.

4.2.1 Escolha da Atividade e Divisão em Elementos

As atividades a observar para este estudo de tempos por cronometragem foram a recolha de ripas simples da linha 1, a recolha de ripas duplas da linha 2 e a recolha de ripas simples da linha 3. De forma a facilitar o estudo, e como o método indica, estas atividades foram divididas em elementos, conforme representado na Tabela 7.

Tabela 7 - Divisão das atividades por elementos.

Elementos		
Recolha Linha 1	Recolha Linha 2	Recolha Linha 3
Alcançar Peças	Alcançar Peças	Alcançar Peças
Marcar Peças	Marcar Peças	Colocar na Palete
Colocar na Palete	Mudar Orientação	-
Endireitar na Palete	Colocar na Palete	-

De seguida, será explicado em que consiste cada um dos elementos.

1. Alcançar Peças: A *Pré-Master Frame*, fornece ripas a partir de três linhas, ripas estas que são recolhidas pelos colaboradores, quando não seguem para a *Master Frame*. Neste caso, o colaborador alcança a ripa e aproxima-a do seu corpo.
2. Marcar Peças: O colaborador pega num pedaço de giz, que se encontra pousado na bancada de trabalho e com um movimento descendente marca as peças que recolhe da máquina e de seguida volta a pousar o giz na bancada.
3. Mudar Orientação: No caso das ripas abastecidas pela linha 2, de forma a otimizar o espaço de armazenamento na palete, o colaborador, após marcar as ripas, vira-as 180°.
4. Colocar na Palete: As peças são colocadas nas paletes pelos colaboradores, ou seja, este elemento inicia-se quando o colaborador pega na peça e termina quando esta é pousada na palete.
5. Endireitar na Palete: No caso das ripas simples estas, por vezes, sofrem um ajuste quando pousadas na palete, assim este elemento inicia-se quando o colaborador inicia o ajuste e termina quando o colaborador regressa à sua bancada de trabalho.

4.2.2 Criação da Folha de Tempos Observados

Nas visitas realizadas à empresa foram recolhidos tempos e filmagens, com recurso a um telemóvel. O cronómetro do telemóvel permitia a cronometragem de várias voltas. De forma a perceber se o número de ciclos observados foi suficiente, foi calculado o número de observações necessárias, através da seguinte equação:

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

Para tal, assumiu-se um nível de confiança de 90%, o que corresponde a um valor de $Z=1,29$, através da distribuição normal, um erro de 0,05 e o valor médio e desvio padrão dos respetivos elementos. As tabelas com os tempos observados (TO), fatores de atividade (FA) e número de observações necessárias encontram-se no Apêndice 4. Na seguinte tabela é possível observar os valores obtidos de TO médio, FA médio e número de observações necessárias para a recolha de ripas da linha 1.

Tabela 8 - Tabela-resumo da folha de observação para a atividade da linha 1.

Elemento	TO médio	FA médio	N	N'
Alcançar Peças	2,896 s	100	40	22
Marcas Peças	2,669 s	104		38
Colocar na Palete	3,396 s	97		20
Endireitar na Palete	6,852 s	94		20

Na Tabela 9, podemos encontrar os mesmos valores, mas para a recolha de ripas na linha 2

Tabela 9 - Tabela-resumo da folha de observação para a atividade da linha 2.

Elemento	TO médio	FA médio	N	N'
Alcançar Peças	3,085 s	104	47	21
Marcas Peças	3,296 s	101		25
Mudar Orientação	2,274 s	101		30
Colocar na Palete	3,329 s	103		19

Por fim, na seguinte tabela, encontramos os dados relativos à recolha de ripas na linha 3.

Tabela 10 - Tabela-resumo da folha de observação para a atividade da linha 3.

Elemento	TO médio	FA médio	N	N'
Alcançar Peças	4,429 s	81	37	18
Colocar na Palete	5,194 s	96		18

4.2.3 Julgamento da Atividade

Nesta etapa, foi necessário determinar a atividade de referência para cada atividade. Como tal, foi efetuada a avaliação objetiva, com o auxílio dos chefes de linha, onde foi possível estabelecer um ritmo padrão com base nas filmagens observadas. A partir deste e observando as filmagens, apenas considerando o ritmo de trabalho e não a dificuldade da tarefa, foram subjetivamente atribuídos FA a cada elemento de cada ciclo. Por sua vez, a estes, numa segunda fase, foi atribuído um ajustamento de dificuldade, disponível no Apêndice 5 e com base nos quadros disponíveis no Anexo 2.

4.2.4 Ajustamentos Aplicados e Tempo Normalizado

Após a confirmação da obtenção de um número suficiente de observações, e tendo sido identificados os ajustamentos necessários, foi possível chegar aos tempos normalizados (TN) para cada um dos elementos das três atividades estudadas e ao tempo total para cada atividade. O cálculo do FA ajustado foi obtido através da seguinte equação:

$$FA_{ajustado} = FA \times 1 + \sum \text{ajustes}$$

Já o TN foi calculado através da seguinte equação:

$$TN = TO \times \frac{FA}{100}$$

Na Tabela 11 é possível observar os valores obtidos para cada elemento de cada atividade, bem como o FA ajustado, os TN e os tempos totais de cada atividade.

Tabela 11 - FA ajustados e TN para as três atividades e respetivos elementos.

	Elemento	TO médio	FA médio	Ajustes	FA ajustado	TN	Total
Linha 1	Alcançar Peças	2,896 s	100	11%	111	3,21	17,10 s
	Marcar Peças	2,669 s	104	11%	115,44	3,08	
	Colocar na Palete	3,396 s	97	15%	111,55	3,79	
	Endireitar na Palete	6,852 s	94	9%	102,46	7,02	
Linha 2	Alcançar Peças	3,085 s	104	11%	115,44	3,56	13,43s
	Marcar Peças	3,296 s	101	11%	112,11	3,70	
	Mudar Orientação	2,274 s	101	9%	110,09	2,50	
	Colocar na Palete	3,329 s	103	7%	110,21	3,67	
Linha 3	Alcançar Peças	4,529 s	81	11%	89,91	4,07	9,81 s
	Colocar na Palete	5,194 s	96	15%	110,4	5,73	

As diferentes atividades são constituídas por elementos diferentes, sendo que os únicos elementos comuns entre elas são os elementos “Alcançar Peças” e “Colocar na Paleta”. Olhando só para estes elementos comuns, calcularam-se os tempos totais para as tarefas, representados na tabela:

Tabela 12 - Tempos totais das tarefas com base nos elementos em comum.

	Elemento	TO médio	FA médio	Ajustes	FA ajustado	TN	Total
Linha 1	Alcançar Peças	2,896	100	0,11	111	3,21	7,00 s
	Colocar na Paleta	3,396	97	0,15	111,55	3,79	
Linha1	Alcançar Peças	3,085	104	0,11	115,44	3,56	7,23 s
	Colocar na Paleta	3,329	103	0,07	110,21	3,67	
Linha 3	Alcançar Peças	4,529	81	0,11	89,91	4,07	9,81 s
	Colocar na Paleta	5,194	96	0,15	110,4	5,73	

A recolha na linha 1 na linha 2 têm tempos muito semelhantes, que rondam os 7 segundos. Já a recolha na linha 3 tem uma duração superior às restantes. Esta diferença poderá estar relacionada com o facto de a linha 3 ter sido introduzida posteriormente às outras duas e da destreza dos operadores associada a este ponto de recolha não ser o mesmo que nos outros dois.

4.2.5 Obtenção de Tempo Padrão

As correções aplicadas encontram-se disponíveis no Apêndice 6 o quadro utilizado para determinação das correções variáveis encontra-se no Anexo 3. A obtenção dos tempos padrão (TP) foi possível através da seguinte equação:

$$TP = TN \times 1 + \sum \text{correções}$$

Os valores de TP para as três linhas encontram-se disponíveis na seguinte tabela:

Tabela 13 - Tempos padrão para a recolha de ripas em cada linha.

	TN	Correções	TP
Linha 1	17,10 s	23%	21,03 s
Linha 2	13,43 s	23%	16,52 s
Linha 3	9,81 s	23%	12,01 s

Observando os dados da Tabela 13, é possível concluir que a atividade com maior duração é a recolha de ripa simples na linha 1, isto acontece, principalmente, devido ao elemento “Endireitar na Paleta”, que é constante em todos os ciclos e também o mais demorado. Relativamente à recolha de ripas da linha

3, além de não serem realizados ajustes das ripas na palete, não há também marcação com giz das peças, o que contribui para a redução significativa do TP da atividade, em comparação às restantes. De modo a facilitar a posterior comparação entre os tempos de execução das atividades dos colaboradores com os do robô colaborativo, foram também calculados os TP tendo em conta os TN totais calculados, apenas a partir dos elementos comuns, representados na Tabela 14.

Tabela 14 - Tempos padrão das tarefas com base nos elementos em comum.

	TN	Correções	TP
Linha 1	7,00 s	23%	8,61 s
Linha 2	7,23 s	23%	8,89 s
Linha 3	9,81 s	23%	12,01 s

5. DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DA FERRAMENTA DE MAPEAMENTO

Um dos objetivos desta dissertação é o diagnóstico da situação inicial, anterior à implementação do sistema colaborativo no chão-de-fábrica. Inicialmente, a ferramenta de mapeamento pensada para a realização deste diagnóstico foi o VSM. Contudo, pelas limitações desta ferramenta gráfica, já mencionadas neste documento, o WID foi o escolhido (Sá et al., 2011), devido à sua capacidade de evidenciar o desperdício. Esta ferramenta, desenvolvida no Departamento de Produção e Sistemas da Universidade do Minho, veio procurar colmatar algumas das limitações do VSM, tais como a incapacidade de representar *layouts*, a incapacidade de representar mais do que uma família de produtos, a necessidade de leitura da informação escrita, a fim de compreender dados importantes e a falta de representação de desperdícios de transporte. O trabalho apresentado neste capítulo procura aliar o WID a um indicador ergonómico, de forma a introduzir informações relacionadas ao bem-estar dos trabalhadores na sua representação, uma vez que eles são um ponto central em qualquer sistema produtivo. Como os trabalhadores estão envolvidos no processo produtivo, é importante diagnosticar se o seu bem-estar está assegurado, ou se é necessário atuar nesse sentido. Considerando o método WID e suas vantagens em relação ao VSM, além das informações relacionadas ao TC, TT, WIP e outros, nesta versão proposta também é possível visualizar a avaliação ergonómica no diagrama. Assim, é possível perceber o risco de sobrecarga física associada a cada estação de trabalho. O método KIM (André Klussmann et al., 2010) foi o escolhido por já ser o utilizado na empresa e para desta forma, ser mais fácil a comparação dos resultados obtidos com os de outras secções da fábrica, já avaliadas pela própria empresa.

5.1 Desenvolvimento da Ferramenta WIDEA

O nome dado a esta nova ferramenta, foi *Waste Identification Diagram with Ergonomic Assessment* (WIDEA) e a solução escolhida para incluir o indicador ergonómico na ferramenta de mapeamento, foi atribuir a cor relativa ao nível de risco KIM aos ícones que indicam o número de colaboradores por PT. Desta forma, estações com nível de risco 1, têm atribuídas figuras coloridas a verde escuro; estações com um nível de risco 2, têm atribuídas figuras com cor verde clara; estações com nível de risco 3, têm ícones amarelos associados e, finalmente, estações com nível de risco 4, têm ícones vermelhos a indicar o número de colaboradores. Relativamente ao transporte entre postos, próximo das setas ficam inseridos os mesmos ícones, indicando quantas pessoas estão associadas às tarefas de transporte e o risco de LMERT associado a essas mesmas tarefas. Desta forma, usando cores, a identificação das estações, ou atividades de transporte com maior risco de sobrecarga física é imediata.

Para recolher as informações necessárias, a fábrica foi visitada durante duas semanas. As informações sobre TC, TT, TS e rotas de produção foram fornecidas por colaboradores do departamento de produção e trabalhadores do chão-de-fábrica. As informações sobre o WIP foram fornecidas também por colaboradores do departamento de produção e, quando necessário, recolhidas autonomamente. As distâncias entre estações foram calculadas no local e as quantidades de material a serem transportadas, fornecidas pelos trabalhadores do chão-de-fábrica.

5.1.1 Indicadores de Produção

Para o desenho da ferramenta WIDEA são necessárias informações relativas a indicadores de produção do sistema produtivo. Como já referido anteriormente, os ícones utilizados no diagrama, os blocos e as setas, têm nas suas dimensões informações relacionadas com os TT, TC, TS, WIP e esforços de transporte. Assim, antes de se iniciar o desenho da ferramenta é necessário identificar os valores associados a estes conceitos.

Procura

A procura corresponde à quantidade de produto que o mercado está disposto a comprar. A obtenção destes dados, foi conseguida através dos valores da procura para as três referências produzidas na *Master Frame*, para a semana em que o estudo se iniciou e para as duas semanas anteriores. A partir destes valores foi calculada a procura por turno, bem como os pesos de cada referência (Tabela 15), para posteriores cálculos, tais como a área e volume médios. A procura por turno calculada foi de 3590,19 *frames*. Os cálculos detalhados da procura e do peso de cada referência estão disponíveis no Apêndice 7.

Tabela 15 - Pesos de cada referência nos cálculos auxiliares para o desenvolvimento da ferramenta WIDEA.

Referência	Peso
KT	65%
KS	18%
LT	21%

Tempo Takt

Este indicador dita a altura total dos blocos que representam as estações de trabalho (Figura 18) e indica de quanto em quanto tempo o mercado pede, em média, uma unidade de produto, durante o período de produção (Dinis-Carvalho, 2008) e a fórmula para o seu cálculo é a seguinte:

$$TT = \frac{t}{Q}$$

Onde o Q representa a procura, ou seja, a quantidade que é necessário produzir, e o t representa o tempo disponível para essa produção.

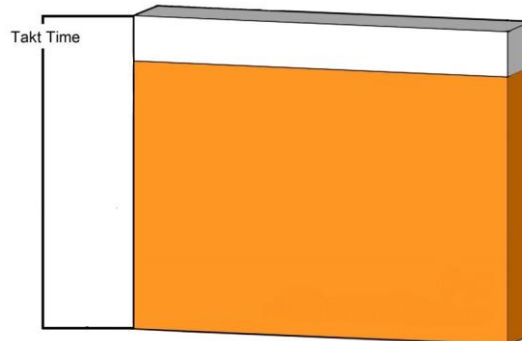


Figura 18 - Altura dos blocos obtida através dos TT-

Os cálculos de TT estão disponíveis no Apêndice 8 e os valores obtidos representados na Tabela 16.

Tabela 16 - TT das estações de trabalho.

Estação de Trabalho	Tempo Takt
<i>Shelling</i>	1 segundo
Multi-Serra	3,01 segundos
Calibradora	4,85 segundos
OMGAS	4,01 segundos
<i>Pré-Master Frame</i>	8,02 segundos
<i>Master Frame</i>	9,63 segundos
Tabuleiros	13,04 segundos

Concluindo, os valores apresentados indicam de quanto em quanto tempo deveria sair uma peça de cada estação, de modo a satisfazer a procura e, com eles, é possível determinar a altura total de cada bloco.

Tempo de Ciclo

O TC é o intervalo de tempo entre duas peças sucessivas, processadas por um sistema produtivo (Dinis-Carvalho, 2006), e na ferramenta WIDEA correspondem à altura da parte colorida dos blocos (Figura 19). Estes valores foram obtidos com auxílio dos valores de taxa de produção fornecidos pela empresa. A taxa de produção, ou cadência de produção, diz respeito à velocidade de processamento com que uma máquina, PT ou um qualquer sistema, processa os artigos (Dinis-Carvalho, 2008). Neste caso a unidade

utilizada na empresa é a de peças por minuto. Olhando para as definições dos dois conceitos, facilmente se deduz que um é o inverso do outro.

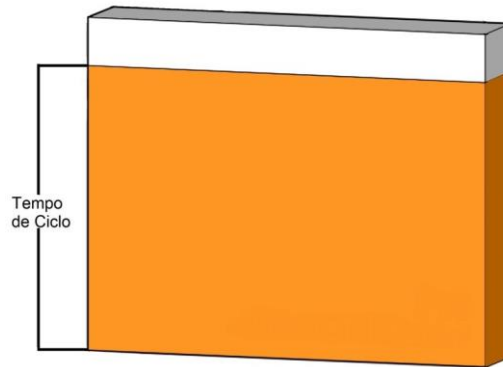


Figura 19 - Altura a parte colorida dos blocos obtida através dos TC.

Os cálculos efetuados para a obtenção dos TC estão disponíveis no Apêndice 9 e os resultados obtidos resumidos na Tabela 17.

Tabela 17 - TC das estações de trabalho.

Estação de Trabalho	Tempo de Ciclo
<i>Shelling</i>	0,36 segundos
Multi-Serra	2,64 segundos
Calibradora	2,27 segundos
OMGAS	3,10 segundos
<i>Pré-Master Frame</i>	6,86 segundos
<i>Master Frame</i>	8,57 segundos
Tabuleiros	7,17 segundos

De modo a se satisfazer a procura estes valores devem ser inferiores aos valores de TT, o que se verifica para todas as estações.

Tempo de Setup

TS é o período de tempo em que a produção é interrompida para que os equipamentos sejam reconfigurados, para entrada de novos produtos na linha de produção, ou para preparo e troca de ferramentas usadas na produção. Na ferramenta WIDEA estes tempos correspondem à profundidade do bloco (Figura 20). Blocos com maior profundidade indicam TS mais elevados, permitindo direcionar os esforços quando o objetivo é reduzir estes tempos.

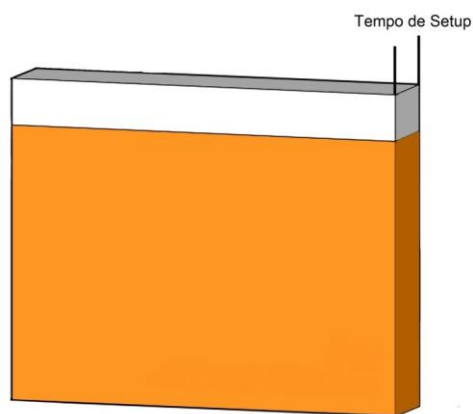


Figura 20 - Profundidade dos blocos obtida através dos TS.

As informações relativas aos TS foram recolhidas no chão-de-fábrica, com ajuda dos colaboradores responsáveis pelas máquinas e dos funcionários responsáveis pela produção. Os tempos recolhidos para cada máquina encontram-se representados na Tabela 18.

Tabela 18 - TS das estações de trabalho.

Estação de Trabalho	Tempo de <i>Setup</i>
<i>Shelling</i>	5 minutos
Multi-Serra	45 minutos
Calibradora	15 minutos
OMGAS	30 minutos
<i>Pré-Master Frame</i>	15 minutos
<i>Master Frame</i>	15 minutos
Tabuleiros	5 minutos

Os elevados TS associados às estações Multi-Serra e OMGAS estão relacionados com a programação da máquina para as diferentes dimensões que tem de cortar.

WIP

O WIP representa a quantidade de artigos que se encontram em curso de fabrico. Diz respeito ao número de produtos que já deram entrada no sistema produtivo, mas sobre os quais ainda não estão concluídas todas as operações (Dinis-Carvalho, 2006). No diagrama WIDEA, este indicador corresponde à largura dos blocos (Figura 21). Ou seja, olhando para os blocos é possível identificar imediatamente qual a estação com maior nível de WIP associado e, dessa forma, priorizar qual estação deve ser o foco quando o objetivo é a redução desse nível. Grandes níveis de WIP geram enormes encargos, não apenas nos

custos de capital empatado, mas também nos custos mais difíceis de reconhecer, tais como a desordem e a ineficiência que esses produtos em curso geram na produção (Dinis-Carvalho, 2008).

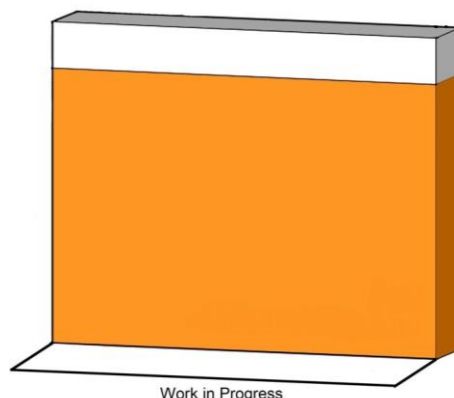


Figura 21 - Largura dos blocos obtida através dos níveis de WIP.

As informações relativas a este indicador foram recolhidas no chão-de-fábrica e, para algumas estações, fornecidas pela empresa. Com o objetivo de representar o WIP em número de *frames*, para facilitar a compreensão do diagrama e manter a mesma unidade em todas as estações, foi utilizado o valor médio de área e de volume das *frames*, para a conversão. Os cálculos efetuados encontram-se no Apêndice 10 e os resultados obtidos representados na seguinte tabela:

Tabela 19 - WIP associado a cada estação de trabalho.

Estação de Trabalho	WIP
<i>Shelling</i>	45228 <i>frames</i>
Multi-Serra	5020 <i>frames</i>
Calibradora	400 <i>frames</i>
OMGAS	3900 <i>frames</i>
<i>Pré-Master Frame</i>	997 <i>frames</i>
<i>Master Frame</i>	401 <i>frames</i>
Tabuleiros	1216 <i>frames</i>

Distância entre Estações

Com o objetivo de representar o esforço de transporte associado ao sistema produtivo analisado, o WIDEA permite utilizar as setas entre as estações para o destacar. Associadas a estas setas estão as informações de distância entre estações e quantidade de material a transportar entre as mesmas, durante um turno de trabalho. A multiplicação destes dois valores resulta na largura das setas, ou seja, setas mais largas indicam maiores esforços de transporte, o que permite focar a atenção em locais mais críticos, quando o

objetivo é atenuar ou eliminar estes desperdícios. O comprimento das setas é sempre o mesmo, para facilitar a leitura do gráfico (Figura 22).



Figura 22 - Largura das setas obtida através dos valores de distância entre estações e quantidade a transportar entre as mesmas.

Em relação à distância entre estações não existiam registos da mesma na empresa. Dessa forma, para a obtenção destes valores foram feitas medições no local. O procedimento foi a medição do percurso em passos. Para isso, um colaborador com conhecimento destas rotas demonstrou o caminho efetuado e a medição com passos foi realizada. Por fim, recorreu-se a um conversor de passos para metros, através da indicação da altura da pessoa autora dos passos. As distâncias calculadas foram sempre arredondadas à unidade. Os resultados obtidos encontram-se apresentados na Tabela 20.

Tabela 20 - Distâncias entre as estações de trabalho.

Estação de Trabalho	Distância
INÍCIO → <i>Shelling</i>	90 m
<i>Shelling</i> → Multi-Serra	30 m
<i>Shelling</i> → Calibradora	12 m
Calibradora → Multi-Serra	18 m
Multi-Serra → OMGAS	12 m
OMGAS → <i>Pré-Master Frame</i>	80 m
<i>Pré-Master Frame</i> → <i>Master Frame</i>	2 m
<i>Pré-Master Frame</i> → Tabuleiros	9 m
<i>Master Frame</i> → FIM	3 m
Tabuleiros → FIM	12 m

Quantidade a Transportar

Os dados relativos à quantidade de material a transportar entre estações, durante um turno de 8 horas, foram fornecidos pela empresa. Assim como para a obtenção dos valores do WIP, como o objetivo é a representação desta quantidade em número de *frames*, foram efetuados cálculos para converter as quantidades obtidas em número de *frames*, recorrendo ao valor de volume e área média das *frames*. Os dados finais estão representados na seguinte tabela:

Tabela 21 - Quantidade de *frames* a transportar entre estações.

Estação de Trabalho	Quantidade
INÍCIO → <i>Shelling</i>	27507 frames
<i>Shelling</i> → Multi-Serra	13440 frames
<i>Shelling</i> → Calibradora	3840 frames
Calibradora → Multi-Serra	3000 frames
Multi-Serra → OMGAS	3840 frames
OMGAS → Pré-Master Frame	3840 frames
Pré-Master Frame → Master Frame	2343 frames
Pré-Master Frame → Tabuleiros	1497 frames
Master Frame → FIM	2343 frames
Tabuleiros → FIM	1497 frames

Com estes dados é possível efetuar os cálculos necessários para a obtenção dos valores da largura das setas indicativas de transporte entre estações.

5.1.2 Escalas

Uma, senão a principal, característica da ferramenta WIDEA é permitir a imediata interpretação da informação, sem necessidade da leitura dos valores dos indicadores apresentados, graças às dimensões dos blocos. Estas dimensões são proporcionais aos valores de TT, TC, TS, WIP e esforço de transporte. Mas para tal ser possível, é necessário que a escala utilizada seja a mesma para todas os blocos que representam as estações de trabalho, e para todas as setas que representam o esforço de transporte. Por isso, na fase de desenho 3D dos ícones da ferramenta, deve ser definida uma escala para cada indicador (Tabela 22) de modo a manter a congruência do desenho. Para o TC e TT a escala utilizada foi a de 1 segundo para 1 unidade de medida, no caso concreto, com recurso ao *software* de desenho 3D *SketchUp*, 1 segundo corresponde a 1 centímetro. Ou seja, um TC de 2,64 segundos corresponde a uma altura de 2,64 centímetros da parte colorida. Um TT de 3,01 segundos, corresponde a uma altura total de 3,01 centímetros. Relativamente ao TS, a escala utilizada foi de 1 minuto para 0,1 centímetros. Ou seja, um TS de 30 minutos, corresponde a 3 centímetros. Em relação ao WIP, 100 *frames* correspondem a 1 centímetro. Por exemplo, um nível de WIP de 1216 *frames* corresponde a uma largura do bloco de 12,16 centímetros. No caso da *Shelling*, 45228 *frames* corresponderia a 424,28 centímetros, o que se torna difícil de representar, por ser um valor muito superior ao das outras estações. De modo a resolver este conflito na representação, foi adicionado um corte à *Shelling*, semelhante ao

utilizado em Desenho Técnico. O valor de WIP está indicado ao lado da estação e através do corte é possível perceber que a largura do bloco se prolonga. Relativamente ao esforço de transporte, a escala utilizada foi a de 10000 unidades de esforço (resultado da multiplicação) para 1 centímetro. Por exemplo, da multiplicação de 80 metros por 3840 *frames*, resulta um esforço de 307200 unidades, o que corresponde a 30,72 centímetros de largura da seta. Alerta-se que estas escalas foram utilizadas para manter as dimensões entre setas e blocos congruentes entre si, no desenho 3D feito no *software SketchUp*. Na passagem dos ícones para o *Photoshop*, a escala “perde” significado, uma vez que o tamanho dos ícones é ajustado ao espaço disponível para o desenho do diagrama. Salienta-se ainda, que quando o tamanho de um ícone foi alterado, o mesmo aconteceu para todos os da mesma família (blocos ou setas), de modo a manter a congruência nas dimensões.

Tabela 22 - Escala utilizada no desenho 3D dos blocos e setas.

Indicador	Escala
TT	1 segundo → 1 centímetro
TC	1 segundo → 1 centímetro
TS	1 min → 0,1 centímetros
WIP	100 frames → 1 centímetro
Transporte	10000 unidades → 1 centímetro

5.1.3 Indicadores Ergonómicos

O método utilizado para realizar esta avaliação ergonómica foi o *KIM* (Klussmann et al., 2010), por ser o método já utilizado pela empresa. Assim, os resultados obtidos podem ser comparados com os resultados de outras secções, avaliadas anteriormente pela empresa. Adicionalmente, é um método validado, já aplicado em estudos similares e que permite a avaliação da enorme variabilidade de tarefas encontradas em ambientes ocupacionais. É de fácil aplicação em contextos industriais, sem necessidade de equipamentos de avaliação, fornecendo dados relevantes para a intervenção ergonómica (Colim et al., 2021)

Para recolher a informação necessária a este estudo, foram efetuadas visitas ao chão-de-fábrica. Imagens de vídeo foram recolhidas para cada posto e informações relativas à duração das tarefas, peso da carga e organização do trabalho foram recolhidas junto dos colaboradores de cada posto. Posteriormente, foi selecionada a *worksheet* do método KIM a utilizar para cada estação de trabalho. Quando a necessidade levou ao uso de dois KIM's diferentes, de forma a proteger o colaborador, o nível de risco atribuído a

cada posto foi o mais elevado. De forma a facilitar o cálculo das pontuações, foi utilizada a ferramenta *Excel* para registo das pontuações de cada indicador e para o cálculo automático da pontuação final. A título de exemplo, a análise detalhada para o posto da *Shelling* fica demonstrada em baixo. As restantes análises podem ser encontradas no Apêndice 11.

Avaliação Ergonómica no Posto da Shelling

O trabalho associado à máquina *Shelling* é maioritariamente executado dentro de um gabinete, salvo quando os operadores se deslocam para fazer ajustes na máquina. Deste modo, a *worksheet* KIM mais indicada é a KIM-MHO (Anexo 4), uma vez que a atividade é executada maioritariamente com as mãos, como por exemplo na manipulação de botões. Relativamente à duração da tarefa, esta é de 8 horas, equivalente a um turno de trabalho, o que corresponde a uma pontuação de tempo de 8. Relativamente à pontuação dos outros indicadores, focando primeiro no tipo de força, esta é muito baixa, com duração inferior a 15 segundos por minuto, correspondente a uma pontuação de 1,5 e a sua frequência é também reduzida (inferior a 5 vezes por minuto), o que corresponde a uma pontuação de 0,5. O somatório destas duas pontuações resulta numa pontuação total de 2, para o tipo de força. Relativamente à transferência de força e o método de agarrar a pontuação é de 0, uma vez que os objetos de trabalho são fáceis de manusear. Quanto à posição da mão/braço, esta recebe uma pontuação de 0, uma vez que os movimentos são confortáveis para o operador. Na categoria de condições de trabalho desfavoráveis, a pontuação é novamente 0. As condições de trabalho, por exemplo as climáticas, são confortáveis. Relativamente à categoria de postura corporal, a pontuação volta a ser 0, havendo mudança frequente da posição do operador e não havendo rotação nem inclinação do tronco. Relativamente à organização do trabalho, esta é considerada boa, visto haver variação da carga física do trabalho e variação das tarefas ao longo do dia, o que corresponde a uma pontuação de 0. O somatório destas categorias resulta numa pontuação de 2, que multiplicada pela pontuação de tempo resulta numa pontuação total de 16. Esta pontuação corresponde ao nível de risco 1, zona verde escura (inferior a 20 pontos), o que indica que não é necessário fazer alterações ao PT (Tabela 23).

Tabela 23 - Tabela-resumo do KIM-MHO para a *Shelling*.

HMO	<i>Shelling</i>		Comentários
	<i>Time rating</i>	8	<i>1 shift (up to 8 hours)</i>
	<i>Type of force</i>	2	<i>Very low; 1,5 (holding) + 0,5 (moving)</i>
	<i>Force transfer</i>	0	<i>Easy to grip</i>
	<i>Hand/arm position</i>	0	<i>Good</i>
	<i>Unfavourable working conditions</i>	0	<i>Good</i>
	<i>Body posture/movement</i>	0	<i>Good</i>
	<i>Work organization</i>	0	<i>Good</i>
	Avaliação	2	
		16	
Risco	1	<20	

De modo a ter em conta as pequenas deslocações realizadas pelos operadores, foi também calculado o nível de risco utilizando o KIM-BM (Anexo 5). Relativamente à pontuação de tempo, estas movimentações ocorrem entre 30 a 45 minutos durante um turno de trabalho, o que corresponde a uma pontuação de 3,5. Relativamente aos outros indicadores e começando pela movimentação do corpo, esta é feita a caminhar, a passo normal e sem carga, correspondente a uma pontuação de 4. Derivado da ausência de carga, o seguinte indicador, localização da carga, obtém uma pontuação de 0. A posição do tronco recebe também uma pontuação de 0, não havendo inclinação ou rotação do mesmo. As condições de trabalho também são favoráveis, por isso este indicador recebe também uma pontuação de 0. A organização do trabalho também é boa, como já referido no KIM-MHO, o que corresponde a uma pontuação de 0. O somatório da pontuação dos indicadores é de 4. Por sua vez, esta pontuação, multiplicada pela pontuação de tempo resulta numa pontuação total de 14 (Tabela 24). Novamente, este nível de risco situa-se na zona verde escura, o que significa que podemos considerar que neste PT não são necessárias alterações.

Tabela 24 - Tabela-resumo do KIM-BM para a *Shelling*.

BM	<i>Shelling</i>		Comentários
	<i>Time Rating</i>	3,5	(30-45 min)
	<i>Body Movement</i>	4	<i>Walking slowly, no load</i>
	<i>Location Load</i>	0	<i>Easy to grip</i>
	<i>Trunk Posture</i>	0	<i>Good</i>
	<i>Unfavourable Working Conditions</i>	0	<i>Good</i>
	<i>Work Organization</i>	0	<i>No variation</i>
	Avaliação	4	
		14	
	Risco	1	<20

Os níveis de risco para os outros postos, bem como as medidas a adotar estão resumidos na Tabela 25.

Tabela 25 - Tabela-síntese com níveis de risco e medidas associadas a cada PT.

Posto	Nível de Risco	Medidas
<i>Shelling</i>	1	Nenhumas.
Multi-Serra	4	Redesenho do local de trabalho; outras medidas de prevenção têm de ser consideradas.
Calibradora	4	Redesenho do local de trabalho; outras medidas de prevenção têm de ser consideradas.
OMGAS	3	Redesenho do local de trabalho; outras medidas de prevenção devem ser consideradas.
<i>Pré-Master Frame</i>	4	Redesenho do local de trabalho; outras medidas de prevenção têm de ser consideradas.
<i>Master Frame</i>	2	Redesenho do local de trabalho; outras medidas de prevenção podem ser úteis.
Tabuleiros	4	Redesenho do local de trabalho; outras medidas de prevenção têm de ser consideradas.

Olhando para a tabela, verifica-se que existe apenas um posto com nível de risco 1, a *Shelling* o que significa que apenas um posto não necessita de redesenho do local de trabalho. Dos restantes postos, apenas um apresenta nível de risco 2, a *Master Frame*, e um apresenta nível de risco 3, as OMGAS. Já a Multi-Serra, a Calibradora, a *Pré-Master Frame* e os Tabuleiros apresentam um nível de risco 4, o que implica, além do redesenho do local de trabalho, que outras medidas de prevenção devem ser tidas em conta o quanto antes. No caso da Multi-Serra e da Calibradora, onde as tarefas são semelhantes, as cargas manuseadas são extremamente pesadas, apesar de manipuladas em cima de tapetes de rolamentos, e a repetibilidade da tarefa é elevada, por isso sugere-se que medidas relacionadas com a diminuição da carga ou frequência da tarefa sejam tidas em consideração. No caso da *Pré-Master Frame*, além da repetibilidade da tarefa, a postura adotada é inadequada para a saúde do colaborador, havendo

frequente rotação do tronco e a sua execução é realizada exclusivamente de pé. Para esta situação, o redesenho do local de trabalho já está em vigor, com a instalação do robô colaborativo. Por fim, no caso dos Tabuleiros, à tarefa de montagem manual de *frames* está associada uma elevada repetibilidade, a sua execução é realizada exclusivamente de pé, obriga à rotação do tronco e a manter durante um tempo considerável as mãos acima da altura dos ombros e os braços abertos. Sugere-se que os tabuleiros sejam alterados e que o método de trabalho seja revisto. Além da postura inadequada, alguns colaboradores deste posto apresentam queimaduras, devido à pistola de cola quente, que utilizam na tarefa de montagem.

Relativamente ao transporte de material entre as estações, este é realizado com recurso a empilhadoras que transportam as paletes, com exceção do transporte entre a *Pré-Master Frame* e os tabuleiros, que é feita com recurso a um carrinho de transporte. Da *Pré-Master Frame* para a *Master Frame* e da *Master Frame* e dos Tabuleiros para o fim da secção estudada, o transporte é feito com o auxílio de tapetes automáticos, não havendo risco de LMERT associados. Desta forma, a avaliação ergonómica, com recurso ao KIM foi realizada para os transportes realizados com empilhadora e com o carrinho de transporte, resumida na Tabela 26 e em detalhe no Apêndice 12.

Tabela 26 - Tabela-síntese com níveis de risco e medidas associadas a cada tipo de transporte.

Transporte	Nível de Risco	Medidas
Tapete automático	1	Nenhumas.
Empilhadora	2	Redesenho do local de trabalho; outras medidas de prevenção podem ser úteis.
Carrinho Transporte	3	Redesenho do local de trabalho; outras medidas de prevenção devem ser consideradas.

Olhando para a tabela verifica-se que o maior nível associado às atividades de transporte durante o processo é o nível 3, para o transporte com carrinhos da *Pré-Master Frame* para os Tabuleiros, o que indica que devem ser tomadas em consideração medidas de prevenção. Este nível de risco deve-se principalmente à elevada frequência da tarefa ao longo de um turno completo e da postura adotada pelos colaboradores enquanto empurram o carrinho. Por isso, deveria ser tida em consideração a possibilidade de alteração do tipo de transporte, para evitar a postura inadequada dos colaboradores. O transporte com empilhadora tem um nível de risco 2 associado, o que indica que medidas de prevenção podem ser úteis e, neste caso, sugere-se a redução da duração da tarefa, introduzindo rotatividade na tarefa.

5.2 Aplicação da Ferramenta WIDEA

Na Figura 23 pode-se observar o diagrama finalizado, com os dados recolhidos e apresentados anteriormente. No Apêndice 13 é possível observar o diagrama com maior detalhe.

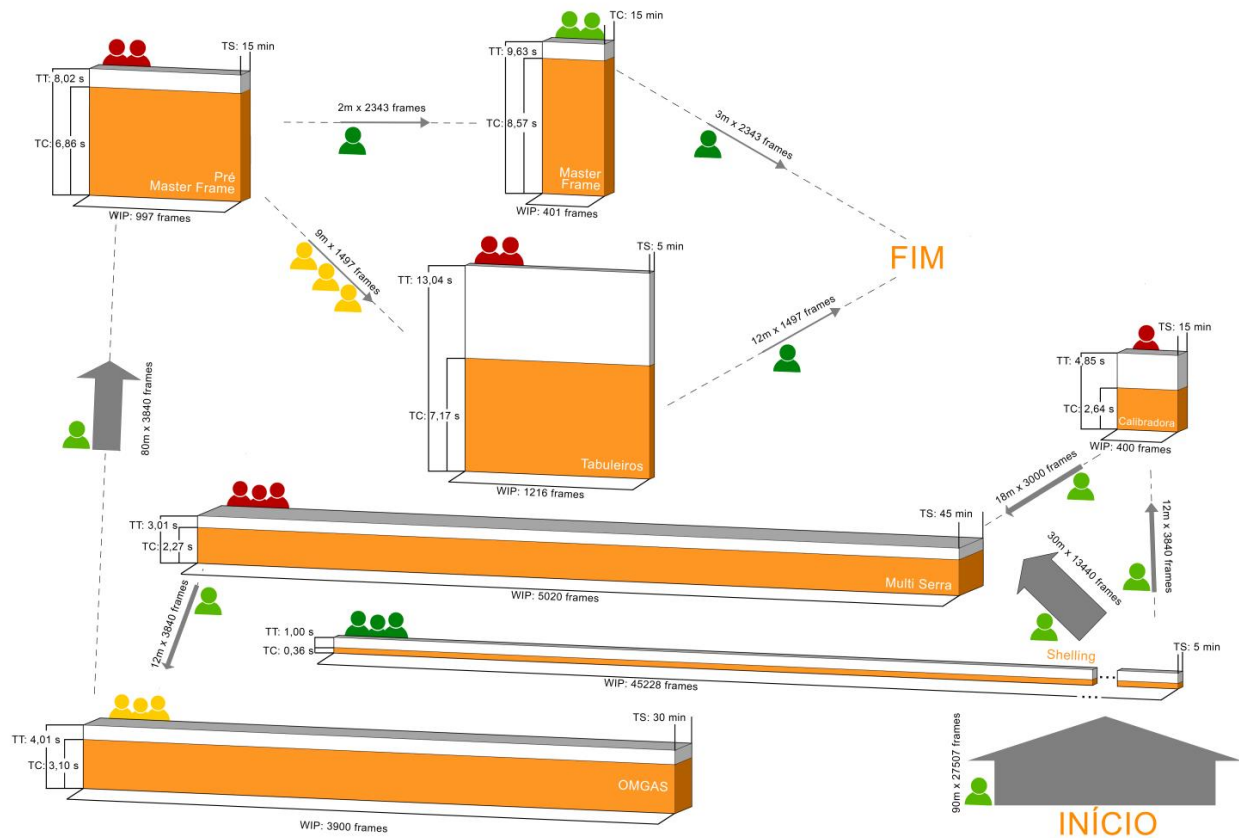


Figura 23 - WIDEA, construído com os dados recolhidos na empresa.

Podemos verificar que a estação com maior nível de WIP é a *Shelling* e a estação com menor nível é a *Calibradora*. Qualquer esforço no sentido de reduzir o WIP deve ser focado primeiramente na *Shelling*. O maior esforço de transporte observa-se entre o início da secção, ou seja, o armazém de matéria-prima e a *Shelling*. Isto acontece devido à distância associada a este transporte (90 metros) e à quantidade de material a ser transportado. A *Multi-Serra* possui o maior TS (45 minutos) e é a segunda com maior nível de WIP. O impacto do TS no WIP desta estação deve ser estudado. A estação com menor ocupação é a *Calibradora* e as estações com maior ocupação são a *Multi-Serra* e a *Pré-Master Frame*. O risco de sobrecarga física é maior (nível 4) na *Calibradora*, *Multi-Serra*, *Pré-Master Frame* e *Tabuleiros*, o que significa que é necessário redesenhar estes PT e que medidas de prevenção devem ser tidas em consideração. As estações com menor risco de sobrecarga física associado são a *Shelling* e a *Master Frame*. O transporte com maior risco de sobrecarga física associado é o realizado com carrinhos de transporte, ou seja, entre a *Pré-Master Frame* e os *Tabuleiros*. Os resultados observados a partir da

ferramenta de mapeamento WIDEA permitem identificar onde devem ser focadas as ações de eliminação de desperdício, tais como a redução do nível de WIP e a diminuição do esforço de transporte. Também é possível identificar imediatamente quais estações de trabalho necessitam de ser redesenhadas, de forma a reduzir o risco associado ao bem-estar dos trabalhadores. O WIDEA é então uma ferramenta que nos permite diagnosticar rapidamente os principais problemas de um processo produtivo, combinando as preocupações da produção *Lean* com a avaliação ergonómica. A utilização do WIDEA pode auxiliar a identificação do fluxo de valor, a identificação de desperdícios e a melhoria de processos, rumo a um sistema de produção mais eficiente e eficaz, capaz de fazer frente aos desafios com que a indústria se tem deparado. No entanto, obter os dados sobre a produção e desenhar o diagrama são processos complicados. O acesso às informações necessárias depende do que a empresa fornece ou do que é possível observar e recolher no chão-de-fábrica. O desenho do diagrama não possui nenhum *software* de desenho associado, dificultando a sua elaboração. A introdução do indicador ergonómico deve ser objeto de mais estudos. Ao mesmo tempo, uma estação pode ter mais do que uma atividade associada, com diferentes níveis de risco de LMERT, o que não foi abordado neste estudo. Também se pode associar ao WID outros métodos de avaliação ergonómica, como por exemplo o RULA, bem como outros indicadores de outras áreas de estudo, uma vez que o aspeto e a elaboração do diagrama são bastante flexíveis. A utilização do WIDEA, ao invés do ErgoVSM poderá ser mais simples, uma vez que o indicador ergonómico também está presente nesta nova ferramenta e as limitações do VSM, resumidas anteriormente, são superadas graças ao uso do WID.

5.3 Validação da Ferramenta

Com o objetivo de testar a ferramenta e recolher opiniões sobre a sua construção, apresentação e conteúdo, foi dinamizada uma sessão de foco com colaboradores da empresa. A sessão teve duração de 30 minutos e nela participaram seis colaboradores da empresa, com conhecimentos e experiência em Ergonomia e Fatores Humanos, Produção e melhoria contínua. A reunião onde ocorreu a sessão realizou-se em formato *online*, com recurso à ferramenta *Microsoft Teams*. Durante a sessão foi partilhada uma apresentação (Apêndice 14) com uma breve introdução à ferramenta, resumidamente, o facto de ter sido desenvolvida a partir do já existente WID e a motivação para o seu desenvolvimento. De seguida, foi explicada de forma breve a sua construção e o significado dos blocos, das setas e o que cada dimensão representava. A versão da ferramenta, elaborada com os dados recolhidos na empresa, foi apresentada e foi fornecido tempo aos participantes da sessão para a analisarem e colocarem questões. Seguidamente, e de modo a perceber se a leitura da ferramenta era simples, foram

disponibilizadas questões relativas à interpretação de resultados. As questões apresentadas foram as seguintes:

1. Qual o posto com maior nível de WIP?
2. Qual o posto com menor nível de WIP?
3. Entre que postos há maior esforço de transporte?
4. Que posto tem o maior tempo de atravessamento?
5. Que posto tem maior tempo de setup?
6. Qual o posto com menor ocupação?
7. Qual o posto com maior ocupação?
8. Qual o posto com maior risco de aparecimento de LMERT?
9. Qual o posto com menor risco de aparecimento de LMERT?

Todas as questões foram respondidas com facilidade, dando-se destaque aos colaboradores mais familiarizados com os conceitos representados na ferramenta de mapeamento. Finalmente, foram colocadas novas questões, de modo a detetar a existência de pontos negativos da ferramenta, a perceber se existia interesse em acrescentar (ou retirar) informação da mesma e a recolher sugestões de melhoria. As questões apresentadas nesta fase foram as seguintes:

1. Existe a necessidade de representar outro indicador na ferramenta?
2. A informação apresentada é útil?
3. A ferramenta é de fácil interpretação?
4. Alguma sugestão a nível de design?
5. Existe alguma maneira de melhorar a ferramenta?
6. A representação é confusa?
7. Conhecem ferramentas que possam servir o mesmo propósito?

Com as respostas dadas a estas questões foi possível concluir que os intervenientes consideraram a ferramenta útil, perceptível e de fácil leitura, relativamente à identificação dos maiores desperdícios, através das dimensões dos ícones. A inserção do indicador ergonómico foi bem acolhida e os resultados da avaliação ergonómica foram de encontro ao esperado. Uma crítica feita à ferramenta foi o facto de a representação do *layout* dificultar a leitura e que seria visualmente mais agradável a manutenção de uma representação sequencial, dando menos relevância à disposição real das estações de trabalho na fábrica. Por fim, um outro comentário foi que a ferramenta *Prezi* pode ser útil em representações do género, devido às funcionalidades de apresentação que disponibiliza, que permitem o foco em determinado assunto ou secção de cada vez, mas sempre com uma visão geral do todo.

Neste processo de validação da ferramenta, foi submetido um artigo intitulado *WIDEA: Waste Identification Diagram with Ergonomic Assessment - Towards the Integration of Lean and Ergonomics* (Peixoto et al., 2022) no simpósio internacional de segurança e higiene ocupacional, o SH02021. Após revisão por pares, o artigo foi selecionado para capítulo de um livro, editado pela *Springer* e intitulado *Occupational and Environmental Safety and Health III*. O artigo foi também apresentado no decorrer do simpósio virtual.

6. IMPACTO DO SISTEMA COLABORATIVO NOS RECURSOS HUMANOS

De modo a conhecer a percepção dos operadores do chão-de-fábrica, nomeadamente da secção de Montagem, em relação à robótica colaborativa, foi desenvolvido e aplicado um questionário (Apêndice 15). Ao longo deste capítulo será apresentada a sua estrutura, bem como as principais conclusões retiradas a partir dos seus resultados. O principal objetivo deste questionário foi identificar as principais dúvidas e incertezas dos colaboradores da empresa, para posterior dinamização de uma sessão de esclarecimento, para esclarecer estas questões. O questionário procura perceber o nível de conhecimento dos colaboradores, no que diz respeito à robótica industrial, verificar a existência da capacidade de distinção entre os conceitos de robótica industrial e robótica colaborativa e, por fim, recolher os principais requisitos à implementação, na opinião dos questionados. O questionário foi aplicado na empresa, a grupos de 3 colaboradores de cada vez, e uma cópia foi dada aos entrevistados, na qual registaram as suas respostas. Todas as perguntas foram lidas em conjunto e foram esclarecidas dúvidas, sempre que colocadas. Com os resultados do questionário foi desenvolvida a sessão de esclarecimento, para esclarecer as principais dúvidas dos colaboradores, bem como munir os de conhecimento relativamente à robótica colaborativa. Só assim, o impacto da implementação do sistema robótico é atenuado e os colaboradores sentem-se mais integrados no processo.

6.1 Estrutura do Questionário

O questionário está dividido em cinco secções: (A) Dados Pessoais, (B) Conhecimentos Gerais sobre a Robótica Industrial e o seu Potencial, (C) Robótica Colaborativa vs Robótica Industrial, (D) Principais Requisitos à Implementação de um Robô Colaborativo e (E) Comentários ou Dúvidas.

Na secção A, para caracterização da amostra, os colaboradores são questionados sobre a sua idade, a ocorrência (ou não) de LMERT e, se sim, em que parte do corpo, sobre o seu género, antiguidade na secção de Montagem e habilitações literárias.

Na secção B – Conhecimentos Gerais sobre a Robótica Industrial e o seu Potencial, estão presentes catorze afirmações relativas à robótica:

- 1- Sinto que os robôs colocam em risco o emprego das pessoas;
- 2- Os robôs conseguem trabalhar em conjunto com os colaboradores 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/a na presença de um robô;
- 7- Os robôs são uma mais-valia para a empresa e auxiliam no 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 musculoesqueléticas relacionadas com o trabalho;
- 14- Sinto-me mais seguro se o robô estiver rodeado por uma vedação.

Destas catorze afirmações, foram apresentadas aleatoriamente sete de teor positivo e sete de teor negativo, de modo a proporcionar ao questionário o cariz neutro necessário (Oppenheim,1992). Os questionados, nesta secção, avaliam as catorze afirmações, recorrendo a uma escala de *Likert*, podendo optar por não ter opinião, discordar totalmente, discordar, ser neutro, concordar ou concordar totalmente com a afirmação. Com esta secção pretende-se compreender os principais receios dos colaboradores em relação à robótica, se consideram a sua presença na fábrica algo positivo e se têm presentes noções gerais sobre o tema.

Na secção C - Robótica Colaborativa VS Robótica Industrial, pretende-se perceber se os colaboradores da empresa conseguem distinguir os robôs tradicionais, já presentes no chão-de-fábrica, dos robôs colaborativos. Para tal, são apresentados sete pontos e o colaborador tem de escolher entre um robô industrial tradicional e um robô colaborativo, consoante a sua opinião em relação ao qual é mais forte na característica em questão. As categorias são: Flexibilidade, Velocidade, Produtividade, Segurança, Aceitação, Menor Custo de Aquisição e Capacidade de Colaboração. Em todos os pontos o colaborador pode optar por não dar a sua opinião.

Na secção D - Principais Requisitos à Implementação de um Robô Colaborativo, pretende-se recolher as opiniões dos colaboradores relativamente a requisitos que estes considerem importantes, aquando da implementação de novos robôs no chão-de-fábrica. Novamente, os questionados respondem, recorrendo a uma escala de *Likert*, consoante achem o requisito muito pouco importante, pouco importante, indiferente, importante ou muito importante. Novamente, a opção “sem opinião” está disponível. Nesta secção os requisitos apresentados são:

- 1- Garantir a Segurança dos Colaboradores;
- 2- Flexibilidade do Sistema Robótica ao Nível das Tarefas/Referências;

- 3- Eficiência do Sistema Robótico;
- 4- Receber Formação sobre Robótica Colaborativa;
- 5- Conhecimento Técnico dos Colaboradores;
- 6- Comunicação Sistema Robótico/Colaborador;
- 7- Autonomia do Sistema Robótico;
- 8- Alocação de Tarefas Exigentes/Repetitivas ao Sistema Robótico.

Os pontos apresentados na secção C e D foram inspirados no trabalho de Colim et al. (2021). Finalmente, na secção E - Comentários, os questionados são convidados a acrescentar algo que tenha ficado por dizer ao longo do questionário.

6.2 Apresentação e Análise dos Resultados

6.2.1 Caracterização da Amostra

A amostra recolhida é constituída por vinte e três trabalhadores da empresa. Destes, dezassete são do sexo feminino e seis são do sexo masculino. A média de idades encontra-se nos 41,4 anos, tendo o participante mais velho 59 anos e o mais novo 20 anos. A média de antiguidade na secção de Montagem da empresa é de 9,3 anos, sendo o máximo atingido 15 anos e o mínimo menos de um ano. Nove participantes afirmam já ter tido algum tipo de LMERT, sendo a maioria ao nível dos ombros, braços e pulsos. Dos vinte e três participantes, oito completaram o 2º ciclo, seis o secundário, cinco o 3º ciclo e quatro o 1º ciclo.

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

Em relação à secção B, foram avaliadas as afirmações de cariz negativo e de cariz positivo separadamente. Em relação às afirmações de cariz negativo, ou seja, afirmações 1, 4, 5, 6, 12 e 14 existe um elevado grau de não concordância (Figura 24), o que parece indicar que os pontos negativos referidos não parecem ser motivo de preocupação para os colaboradores da empresa. A afirmação 5 "*Sinto-me inseguro/a na presença de um robô*" e a afirmação 8 "*A introdução dos robôs na fábrica vai tornar as minhas tarefas mais difíceis/exigentes*" apresentam o maior nível de não concordância. Já a afirmação 14 "*Sinto-me mais seguro se o robô estiver rodeado por uma vedação*" tem o maior número de respostas em concordância e apenas uma em não concordância.

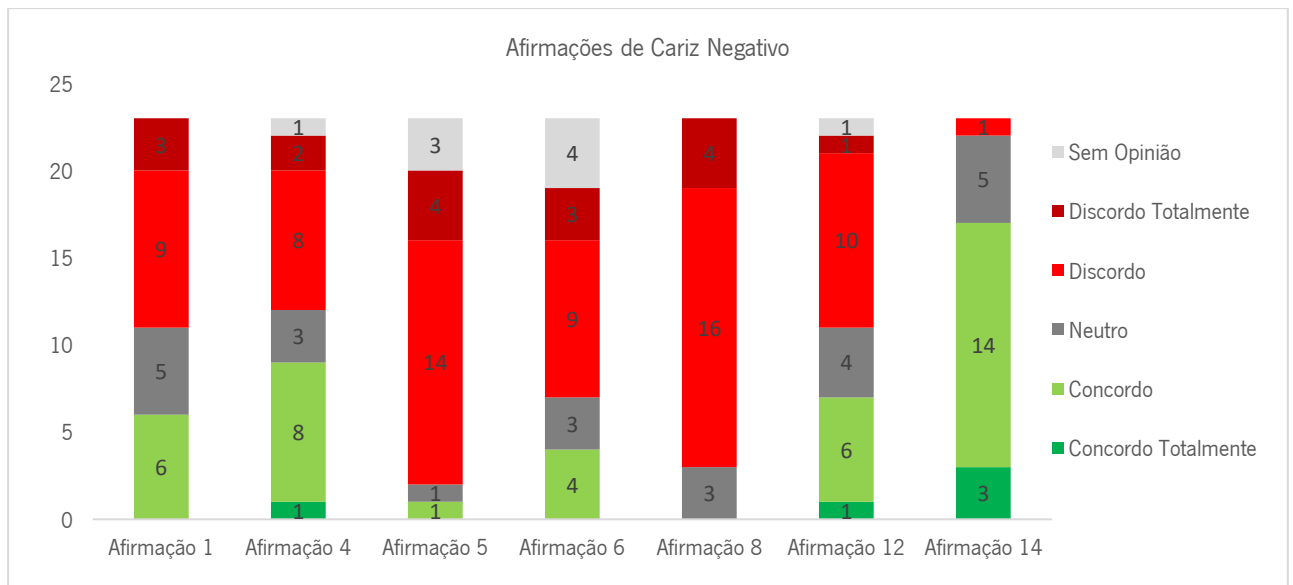


Figura 24 - Resultados das afirmações de cariz negativo.

Relativamente às afirmações de cariz positivo, podemos observar na Figura 25 que existe um elevado grau de concordância com as afirmações. Novamente, este elevado grau de respostas em concordância, pode indicar que os colaboradores da fábrica têm uma opinião geral positiva em relação à robótica industrial. A afirmação 13 “*Os robôs podem atenuar o risco de lesões musculoesqueléticas relacionadas com o trabalho*” é a afirmação com maior grau de concordância, o que pode indicar que os colaboradores estão familiarizados com os benefícios da robótica ao nível da Ergonomia. Já a afirmação 10 “*Os robôs podem aumentar a qualidade dos produtos, diminuindo/detetando defeitos*” tem o maior número de respostas em não concordância, o que pode indicar que os colaboradores não confiam na capacidade de deteção de defeitos por parte dos robôs.

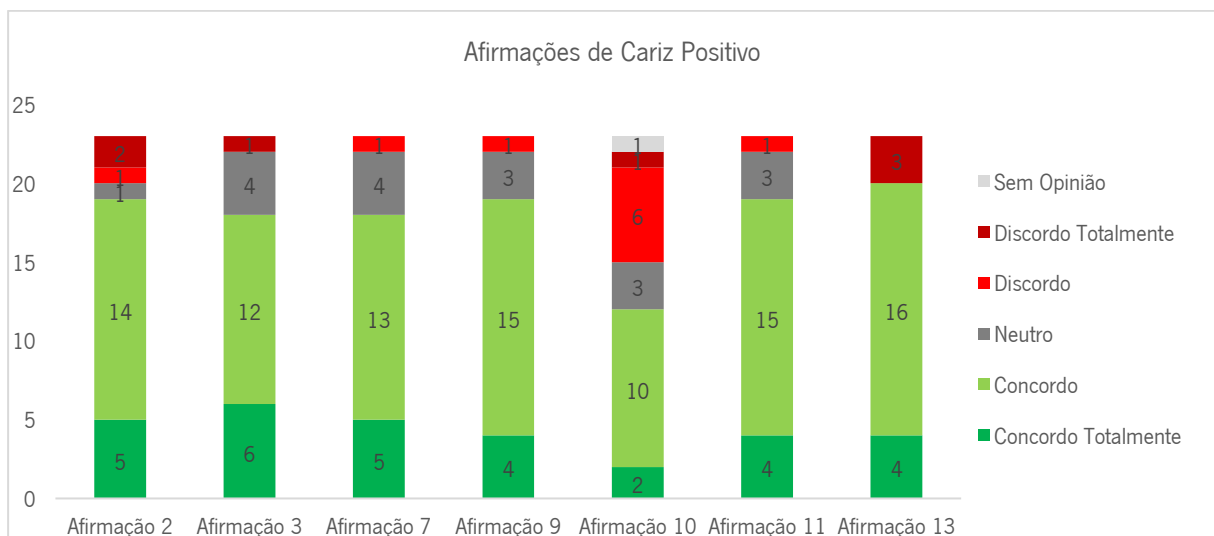


Figura 25 - Resultado das afirmações de cariz positivo.

6.2.3 Secção C - Robótica Colaborativa VS Robótica Industrial

Esta secção revela o maior número de respostas “Sem Opinião” (Figura 26), o que indica a existência de dúvidas em relação à distinção entre robótica industrial tradicional e robótica colaborativa, por parte dos colaboradores da empresa. Na “Capacidade de Colaboração” e “Menor Custo de Aquisição”, é possível destacar a robótica colaborativa como principal escolha de resposta. Ao nível da “Segurança” e da “Produtividade”, destaca-se a robótica industrial tradicional. Relativamente à “Aceitação”, “Velocidade” e “Flexibilidade” as duas robóticas ficaram muito próximas ao nível de respostas.

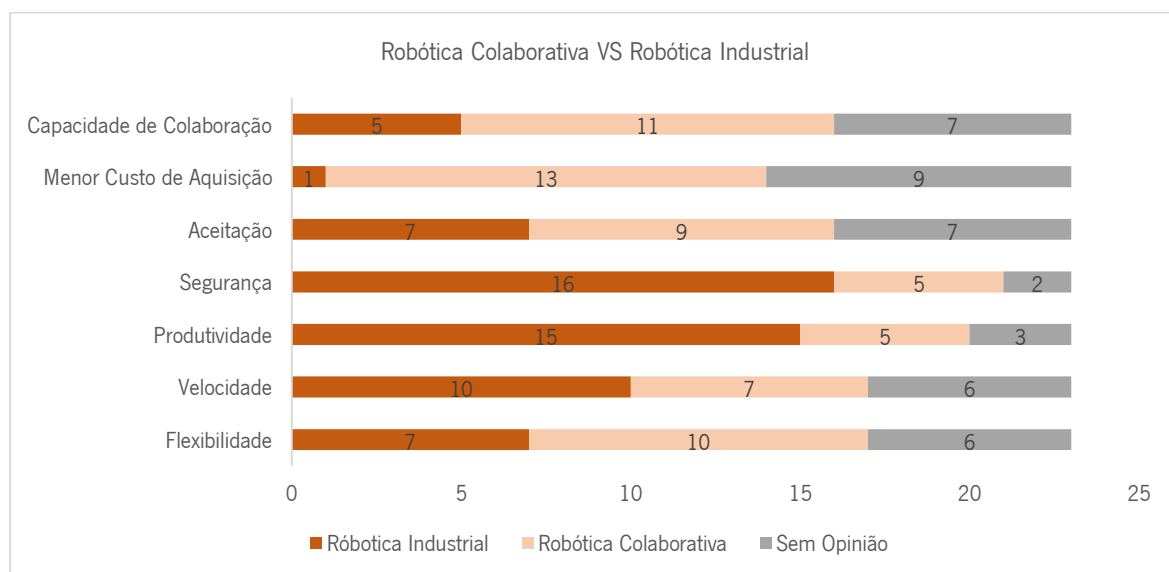


Figura 26- Resultados da secção C do questionário: "Robótica Colaborativa VS Robótica Industrial".

6.2.4 Secção D - Principais Requisitos à Implementação de um Robô Colaborativo

Nesta secção do questionário, onde foram avaliados os requisitos à implementação de um robô colaborativo, verificou-se que existe um elevado grau de importância para todos os requisitos (Figura 27). Apenas a “Autonomia do Sistema”, a “Comunicação Sistema Robótico/Trabalhador” e “Garantir Segurança” receberam uma ou duas classificações de baixa importância, sendo o primeiro requisito o único a ter recebido uma resposta de “Muito Pouco Importante”. O maior grau de importância é atribuído à “Eficiência do Sistema”

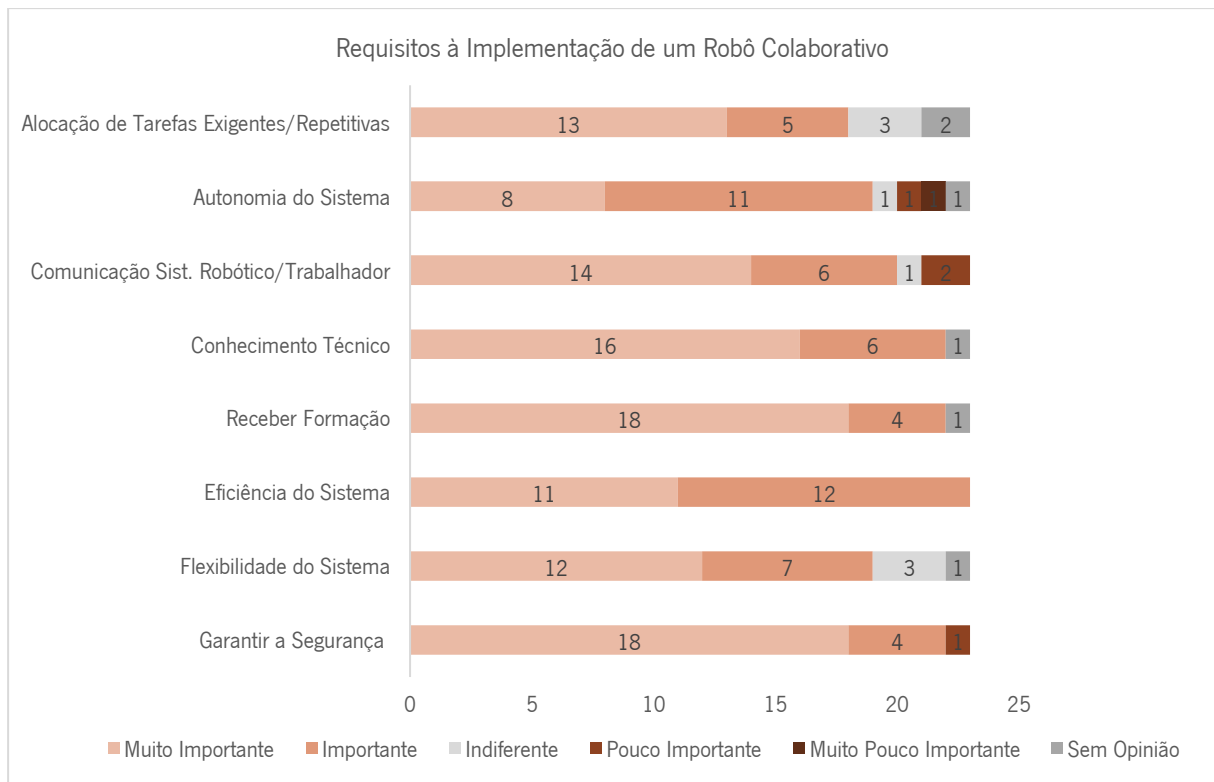


Figura 27 - Resultados da secção D do questionário: "Requisitos à Implementação de um Robô Colaborativo".

6.2.5 Discussão

Através dos resultados apresentados anteriormente, é possível destacar algumas conclusões. Em primeiro lugar, verificou-se que os trabalhadores dizem sentir-se mais seguros quando os robôs estão rodeados por uma vedação, ou seja, sentem-se mais confortáveis na presença de uma barreira protetora. Como o robô colaborativo, que será instalado na fábrica, não vai estar rodeado por qualquer vedação e, além disso, irá circular autonomamente na zona da *Master Frame* é necessário demonstrar aos colaboradores que também se podem sentir seguros na presença do *cobot*. Para isso, é necessário explicar aos colaboradores da empresa os diferentes mecanismos de segurança adjacentes à robótica colaborativa. Em segundo lugar, destaca-se também o facto de os operadores não estarem confiantes com a capacidade do robô para a deteção de defeitos. Na tarefa atual, realizada manualmente pelos colaboradores, aquando da retirada de peças pré-montadas da máquina, existe um controlo de qualidade. Os colaboradores verificam se os cubos estão colados, se a peça está partida e se as cotas estão corretas, entre outras coisas. Uma vez mais, a solução passa por demonstrar aos colaboradores que a deteção de defeitos é possível e demonstrar os mecanismos utilizados pelo robô colaborativo para realização dessa mesma deteção. Outro ponto de destaque é que, analisando as respostas dadas à secção C do questionário, é possível verificar que os colaboradores têm dificuldades em distinguir a robótica industrial tradicional da robótica colaborativa. Isto pode estar relacionado com a falta de

conhecimento relativo à robótica colaborativa, uma vez que os colaboradores estão mais familiarizados com a robótica industrial tradicional, com a qual lidam diariamente na fábrica. É então importante, introduzir os colaboradores ao conceito de robótica colaborativa, antes da implementação do robô na fábrica. Uma estratégia para o fazer é procurar utilizar os seus conhecimentos em relação à robótica tradicional, para introduzir as principais diferenças entre essa e a robótica colaborativa. Assim, é esperado que a aceitação dos trabalhadores em relação à instalação da nova célula robótica seja mais fácil. Além disso, é fornecido conhecimento aos colaboradores em relação a máquinas com as quais se vão cruzar ou até mesmo colaborar.

6.3 Sessão de Esclarecimento

Através da análise dos resultados do questionário, foi possível verificar que os colaboradores da empresa não estavam familiarizados com o conceito de robótica colaborativa. Esta falta de conhecimento faz com que não se sentissem confortáveis com questões como a segurança da robótica colaborativa, afirmando preferirem os robôs rodeados por uma vedação, e com questões de qualidade, como a deteção de defeitos. A solução encontrada para deixar os colaboradores mais confortáveis e familiarizados com os *cobots*, a tempo da instalação da nova célula robótica, foi a realização de uma sessão de esclarecimento, com os operadores na secção de Montagem, ou seja, os colaboradores que se possam vir a cruzar ou a trabalhar próximo do robô. Assim o público-alvo para a sessão foram os colaboradores que possam vir a ter proximidade com a célula colaborativa, ou seja, os mesmos já selecionados para responder ao questionário. O principal objetivo desta sessão de esclarecimento foi fornecer aos colaboradores conhecimentos básicos de robótica colaborativa e procurar esclarecer as suas principais dúvidas, recolhidas a partir do questionário aplicado, de modo a melhor prepara-los para a implementação do sistema robótico (Charalambous et al., 2016). A sessão foi presencial, de modo a facilitar a troca de impressões entre colaboradores e a colocação de questões.

6.3.1 Estrutura

A apresentação foi dividida em dez *slides*. Procurou-se utilizar uma linguagem simples e direta e recorrer, sempre que possível a imagens ou esquemas, ao invés de texto, para manter os colaboradores interessados na sessão. O primeiro *slide* contém o título da apresentação “Sessão de Esclarecimento-Robótica Colaborativa”, bem como o logótipo de todos os envolvidos. De seguida, no segundo slide, foram apresentados aos colaboradores os resultados do questionário em que estiveram envolvidos, as principais conclusões tiradas das suas respostas e o motivo da sessão. O terceiro slide contém duas

definições, a de robô industrial e a de robô colaborativo. A primeira retirada da ISO e a segunda retirada de um artigo publicado pelo DTx. Foram anexadas imagens a cada uma das definições, de modo a facilitar a compreensão dos dois conceitos. Foi também adicionado um gráfico para demonstrar a relação entre um conceito e o outro (Figura 28).

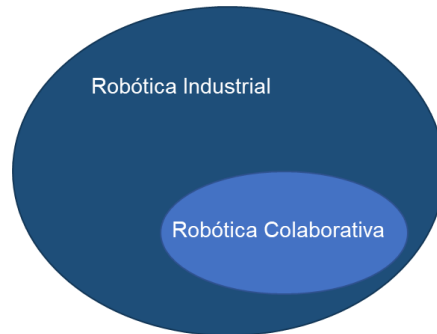


Figura 28 - Gráfico inserido na apresentação para demonstrar a relação entre robótica industrial e robótica colaborativa.

O *slide* número quatro contém uma tabela que resume as principais diferenças entre robótica industrial e robótica colaborativa. As diferenças são demonstradas através da comparação de determinadas características face a cada robótica (Tabela 27). As características presentes na tabela são: segurança, proximidade com o operador, programação, utilização do espaço de trabalho, produtividade, controlos, volume de produto, complexidade e movimentos. A tabela foi retirada de um artigo e adaptada às necessidades da sessão, tendo sido traduzida e a linguagem alterada, para simplificar a sua compreensão.

Tabela 27 - Tabela inserida na apresentação com as principais diferenças entre robótica industrial e colaborativa.
(Bi et al., 2021)

Características	Robótica Colaborativa	Robótica Industrial
Segurança	Mecanismos de segurança que asseguram a colaboração num ambiente de trabalho partilhado	Estruturas de separação do robô dos operadores
Proximidade com o operador	Permitida, quando os procedimentos de segurança são respeitados	Proibida
Programação	Intuitiva - Ensinar Manualmente	Tradicional
Utilização do espaço de trabalho	Reduzida	Elevada - Vedações à distância de segurança obrigatória
Produtividade	Limitada - Baixa velocidade para garantir segurança	Elevada
Controlos	Autónomo ou Controlo Manual	Autónomo - Pré-programados
Volume de Produto	Usada para produtos com baixo volume e alta variabilidade	Usada para produtos com grande volume
Complexidade	Programas flexíveis que contam com utilizador para lidar com mudanças e incertezas	Programas fixos para tarefas específicas
Movimentos	Simultâneos aos do operador	Alternados com os operadores

Com o quinto *slide*, iniciou-se o tema da segurança, tendo sido apresentado o primeiro mecanismo de segurança da robótica colaborativa, *SRMS*. Os nomes dos mecanismos de segurança foram traduzidos, para facilitar a compreensão dos colaboradores e os slides compostos apenas por vídeos e imagens ilustrativas. Desta forma, pretendeu-se explicar de forma simplificada cada um dos mecanismos de segurança, com o uso de linguagem simples e concreta. No *slide* número seis foi explicado o mecanismo de *HG*, no *slide* número sete o mecanismo *SSM* e no *slide* número oito o mecanismo de segurança *PFL*. Finalmente, no o *slide* número nove, recorrendo novamente apenas a vídeos e imagens, foi explicado como a deteção de defeitos é feita pelo robô colaborativo e foram apresentados dois vídeos, com os testes feitos no laboratório do DTx, com as referências utilizadas na fábrica (Figura 29). O conteúdo completo da apresentação encontra-se no Apêndice 16.

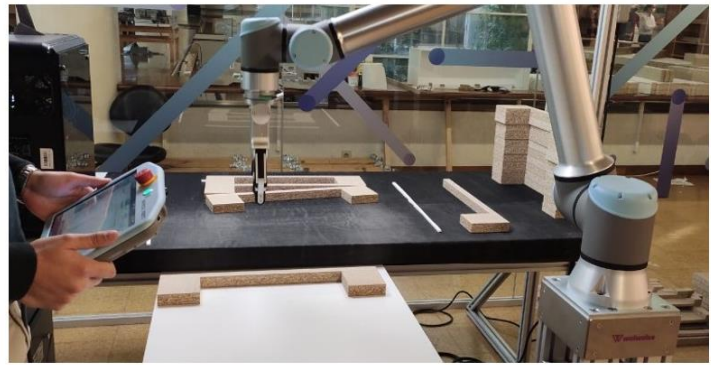
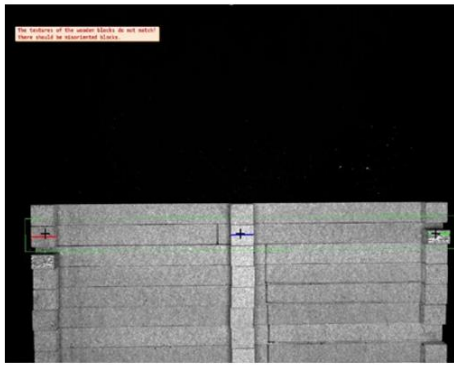


Figura 29 - Conteúdo mostrado na sessão: à esquerda, *frame* de vídeo para demonstrar o sistema de visão utilizado pelo robô; à direita, *frame* de vídeo do robô a separar as peças em conformidade das não-conforme.

7. PREVISÃO DO IMPACTO DO SISTEMA COLABORATIVO NA ORGANIZAÇÃO

Neste capítulo será apresentado o sistema robótico que será implementado (Anexo 6), bem como as suas principais características. De seguida, a sua utilização em três situações distintas será explicada, e serão destacados alguns pontos a ter em consideração depois da sua implementação.

7.1 O Sistema Robótico

O manipulador escolhido, em conjunto com a empresa, para a implementação, trata-se de um modelo da *Universal Robots*, o UR10 *e-series* (Figura 30). Trata-se de um modelo leve, que economiza espaço e é fácil de instalar, sem necessidade de grandes alterações ao *layout* do chão-de-fábrica. Podem ser utilizados para mais do que uma tarefa, permitindo automatizar várias tarefas manuais dentro de uma instalação de produção, utilizando apenas um *cobot*. A sua programação é *user-friendly* e intuitiva, permitindo programar o robô movendo o manipulador ou utilizando as funções de “arrastar” e “soltar”, com recurso a um *tablet*. Funções de segurança, 17 no total, permitem garantir a segurança quando os robôs trabalham lado a lado com os operadores. O efetuador utilizado será uma garra mecânica, de dois dedos, também da *Universal Robots*.



Figura 30 - Manipulador UR10 *e-series*.

A vista de cima e de frente da posição do manipulador nos pontos de recolha das ripas está representado na Figura 31, ficando o robô a 0,3 metros de distância da bancada de trabalho e a sua altura ao solo, de modo a otimizar as tarefas, deverá encontrar-se entre os 0,5 e os 0,9 metros do solo.

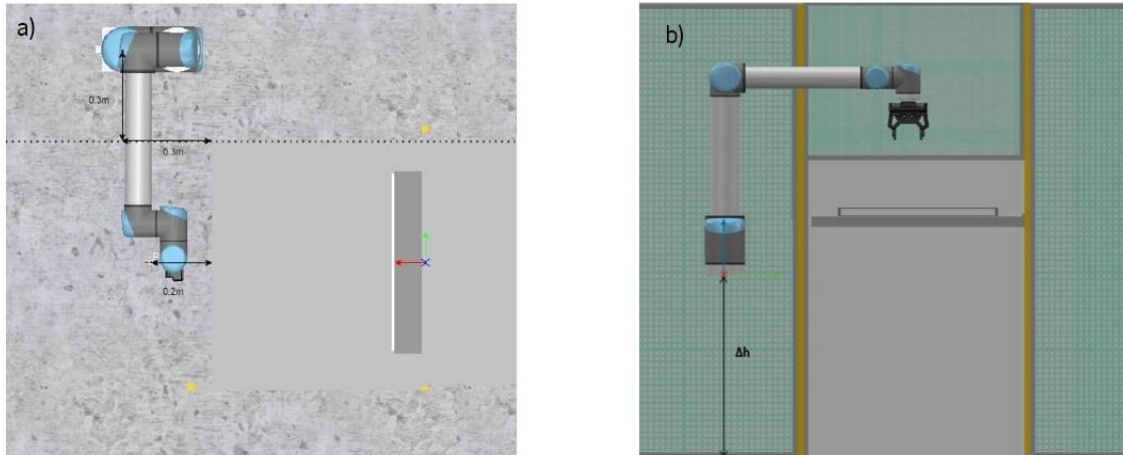


Figura 31 - posição do robô na estação de trabalho: a) vista de cima e b) vista de frente.

Graças ao sistema de visão, a segurança é reforçada, uma vez que o sistema permite uma noção constante da área ao redor da estação de trabalho, para detecção de entrada de pessoas ou equipamentos. Quando esta detecção é efetuada, o robô diminui a sua velocidade ou para completamente, consoante a distância a que essa pessoa ou equipamento se encontra. Este sistema de visão também permite o reconhecimento de objetos, por exemplo qual o tipo de referência a ser produzida e a detecção de defeitos, para efeitos de qualidade. Esta detecção passa por verificar a ausência de cubos, e se as cotas da ripa estão corretas, com a verificação da posição de colagem do cubo.

A deslocação do robô entre postos de recolha será feita autonomamente, graças a um sistema de navegação, o MiR200, da *Mobile Industrial Robots (MiR)* (Figura 32). Para a acoplagem segura do robô aos três pontos de recolha das ripas, foi desenhado, no DTx, um mecanismo que permite acoplar o robô a estes pontos, através de duas estruturas metálicas, uma fixa no MiR e outra fixa nos pontos de recolha.



Figura 32 - Sistema de navegação MiR200.

7.2 Impacto da Implementação do Sistema Robótico

A implementação do sistema robótico na estação da *Pré-Master Frame*, irá introduzir mudanças na organização e no sistema produtivo. Após a implementação do robô colaborativo, este poderá ser utilizado em três situações diferentes, situações estas em que o tipo de interação entre os colaboradores do posto e o sistema robótico é sincronizado: o robô e o trabalhador humano compartilham o local de trabalho, mas somente um está presente no local de trabalho em cada momento.

7.2.1 Descrição das Situações Possíveis

A primeira situação é a colocação do robô na linha 1 a retirar ripas simples, com um colaborador a retirar ripas duplas na linha 2, enquanto a linha 3 alimenta a *Master Frame*, como representado na Figura 33.

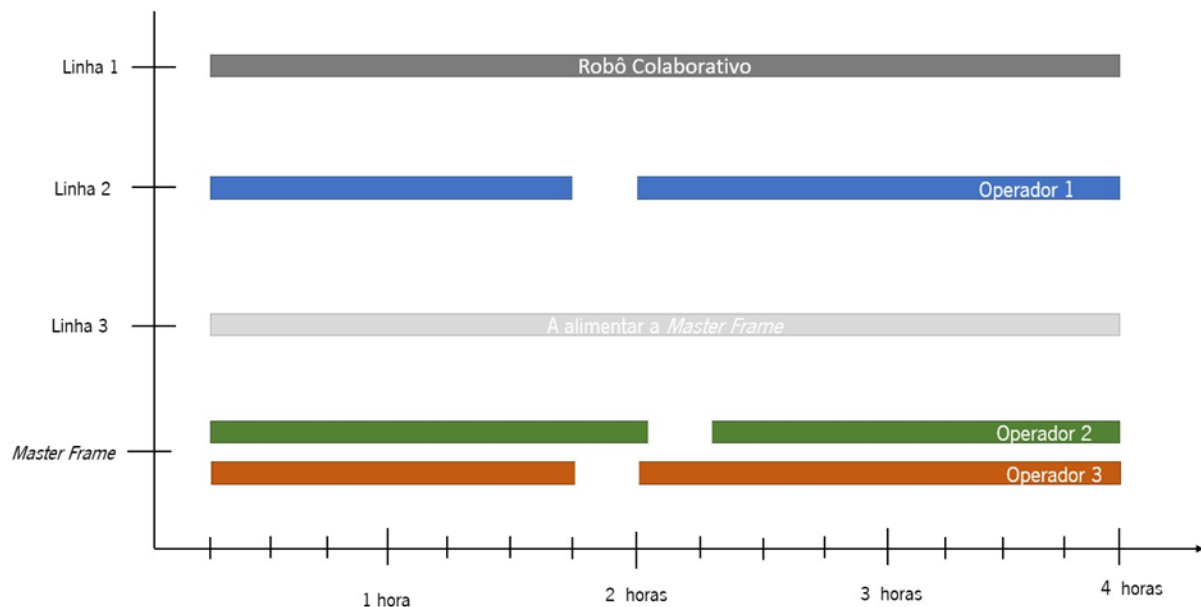


Figura 33 – Cenário 1.

A segunda situação possível, é muito semelhante à primeira, com o robô a auxiliar a recolha de ripas duplas na linha 2, enquanto o colaborador humano retira ripas simples da linha 1 e a linha 3 alimenta autonomamente a *Master Frame* (Figura 34).

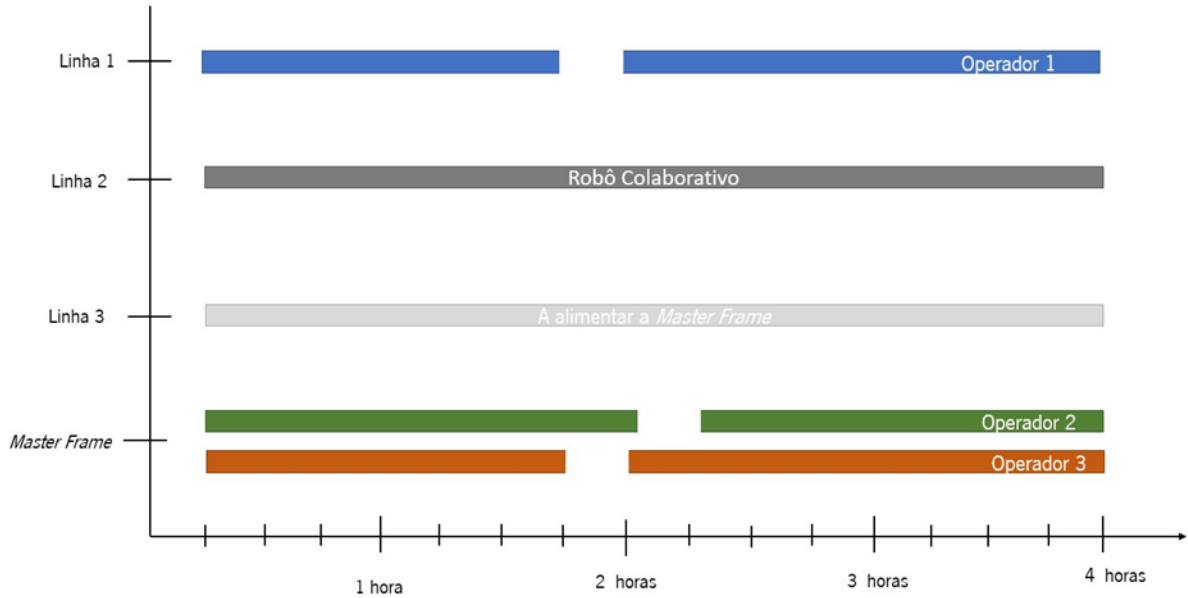


Figura 34 - Cenário 2.

Por fim, o último cenário possível é a colocação do robô na linha 3, a retirar ripas simples enquanto a linha 1 e 2 alimentam a *Master Frame*, como representado na Figura 35.

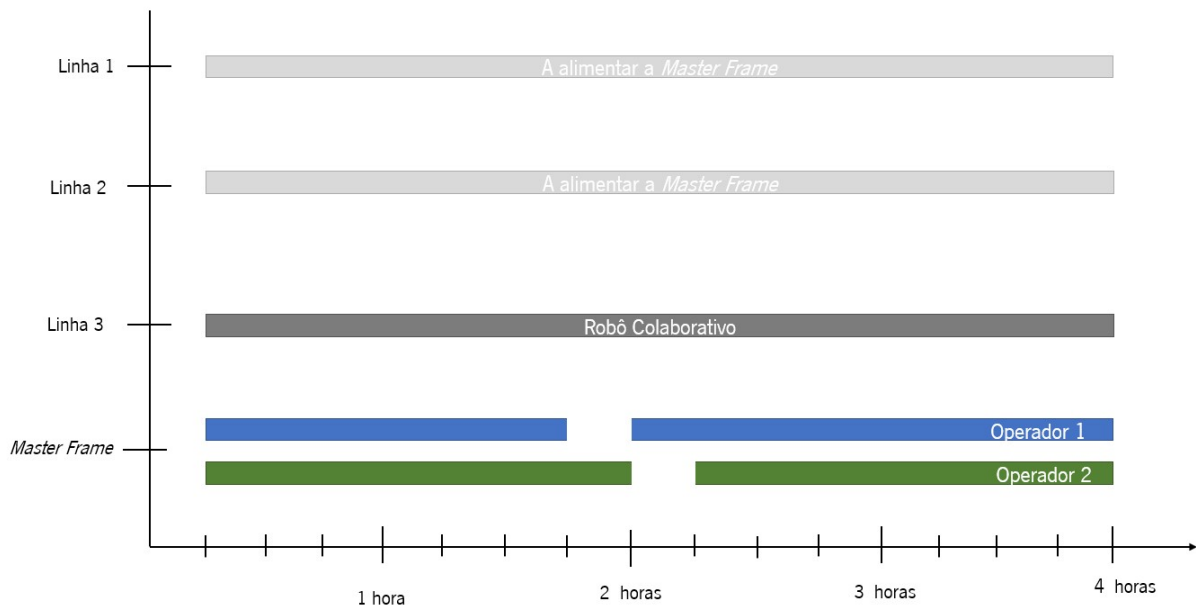


Figura 35 - Cenário 3.

7.2.2 Impacto no Risco Biomecânico

Verifica-se que tanto a situação 1 como a situação 2, requerem a presença de um colaborador humano na *Pré-Master Frame*. Através da avaliação ergonômica do PT, apurou-se que esta recolha de ripas da linha 1 e da linha 2 têm um elevado risco ocorrência de LMERT, o que implica a necessidade de redesenhar o posto de trabalho e de implementar medidas de prevenção o quanto antes. Desta forma,

para a situação 1 e 2, onde o risco de sobrecarga física não é totalmente eliminado com a introdução do robô, são necessárias mudanças no PT, de modo a assegurar o bem-estar e a saúde dos colaboradores. A situação 3, não requer um colaborador humano a retirar ripas da *Pré-Master Frame*, o que significa que nos momentos em que o robô se encontra neste posto, não há qualquer risco de LMERT associado à estação de trabalho, o que vai de encontro ao apresentado por Galin et al. (2020) e Vido et al. (2021).

7.2.3 Impacto na Detecção de Defeitos

Como referido, o sistema de visão do robô permitirá a deteção de defeitos na recolha de ripas da máquina. Será capaz de verificar a ausência de cubos, se a colagem dos mesmos foi feita na orientação correta e a cotagem dessas mesmas colagens. Contudo, o controlo efetuado pelo colaborador humano revela maior detalhe, sendo este capaz de detetar não só os defeitos mencionados, mas também a saliência dos cubos, a aplicação de pouca cola, existência de ripas ou cubos danificados e material mal cortado nos processos anteriores. Na recolha de ripas efetuada pelo sistema colaborativo, alguns destes defeitos poderão ser ignorados, e as ripas paletizadas mesmo sendo defeituosas. Estas considerações vão ao encontro do trabalho apresentado por Barosz et al. (2020). Como tal, é necessário, após implementação do *cobot*, analisar o efeito desta deteção de defeitos nos processos seguintes.

7.2.4 Impacto nos Tempos

Recorrendo a simulações, foi possível determinar o tempo que o manipulador robótico demora a pegar nas peças e a paletiza-las (Figura 36).

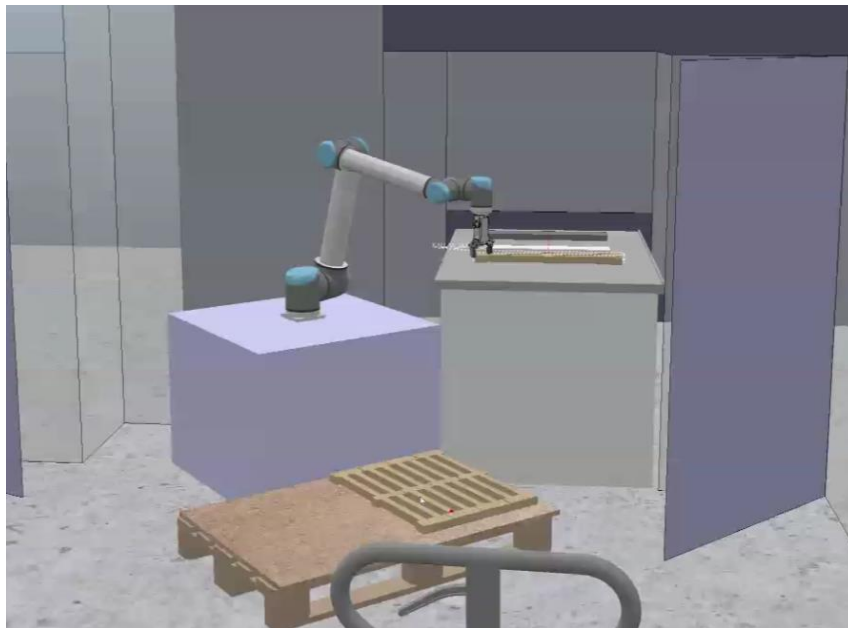


Figura 36 - Simulações recorrendo ao *software Coppelia*.

Olhando para o estudo de tempos realizado para a estação de trabalho na *Pré-Master Frame* é possível comparar os tempos dos colaboradores com os tempos do robô. Para a obtenção dos tempos do robô, com o auxílio de um temporizador do *software* de simulação *Coppelia*, foram recolhidos três tempos para cada linha, e calculado o tempo médio de execução da tarefa de paletização, conforme representado na Tabela 28:

Tabela 28 - Tempos médios de execução da tarefa de paletização pelo manipulador robótico para as três linhas.

	Tempos	Tempo Médio
Linha 1	5,80 s	5,80 s
	5,85 s	
	5,75 s	
Linha 2	6,00 s	5,87 s
	6,00 s	
	5,60 s	
Linha 3	6,30 s	5,98 s
	5,95 s	
	5,70 s	

Olhando para aos valores da tabela é possível afirmar que o desempenho do robô é semelhante para os três tipos de recolha, sendo que os tempos de execução nas três linhas estão muito próximos uns dos outros. Ao comparar os tempos obtidos para o sistema robótico com os TP calculados no estudo de tempos, verifica-se que existe uma redução acentuada na duração das tarefas, com a introdução do robô colaborativo no posto (Figura 37). Isto vai de encontro ao trabalho apresentado por Fast-Berglund et al. (2016) e Barosz et al. (2020).

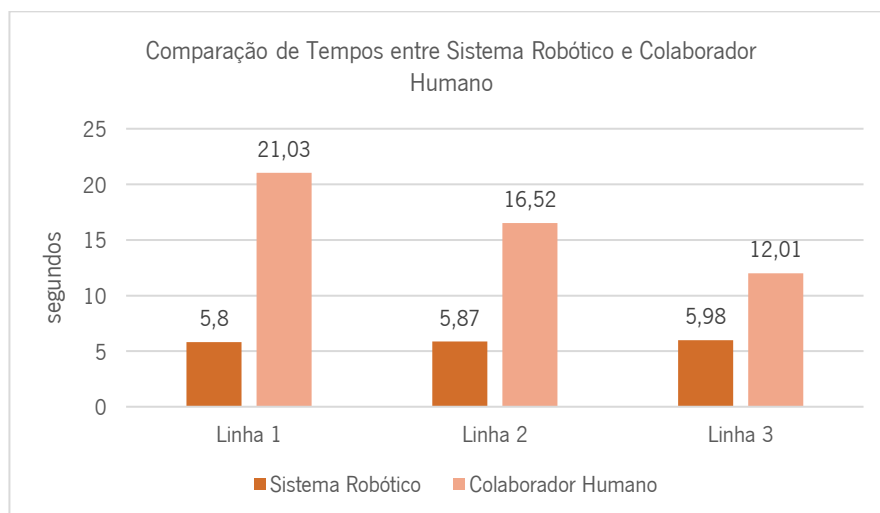


Figura 37 - Comparação dos tempos de execução do robô com os tempos padrão obtidos com o estudo de tempos.

Contudo, é preciso salientar que o robô não realiza exatamente as mesmas ações que os colaboradores, com exceção da linha 3. Em relação aos elementos da linha 1, o robô colaborativo não realiza a marcação com giz das peças, nem endireita as mesmas na palete. Da mesma forma, enquanto que na linha 2 existe novamente marcação das peças com giz e mudança da orientação das peças, para otimização do espaço de paletização, o robô apenas alcança as peças e coloca-as na palete. Se a atividade realizada pelo sistema robótico fosse dividida em elementos, estes seriam apenas dois: alcançar peças e colocar peças na palete. No gráfico representado na da Figura 38 é possível verificar a comparação entre os tempos de execução do sistema robótico, com os tempos de execução do colaborador humano, tendo apenas em conta estes últimos os elementos: “Alcançar Peças” e “Colocar Peças na Palete”.

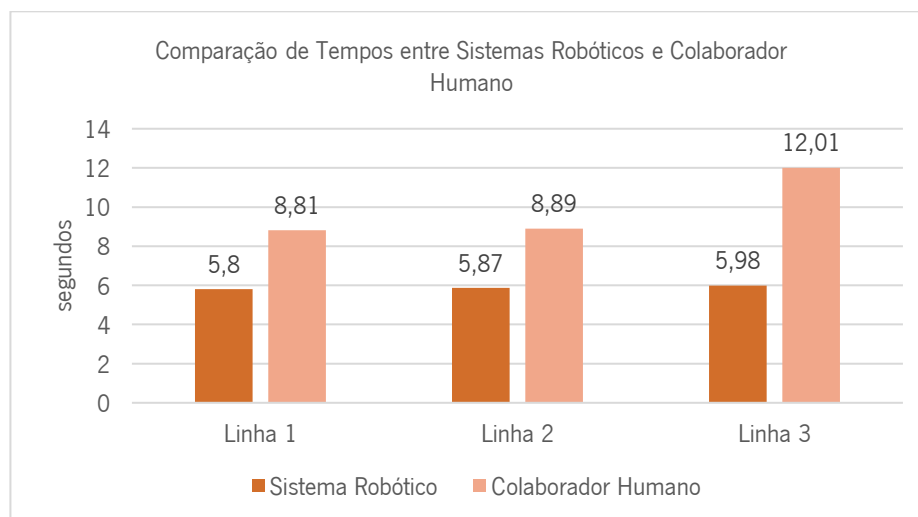


Figura 38 - Comparação dos tempos de execução do robô com os tempos análogos dos colaboradores.

Olhando para o gráfico, e comparando os tempos de execução do sistema colaborativo com os tempos análogos para os colaboradores, verifica-se que mesmo isolando os elementos em comum, existe redução na duração da tarefa, apesar de menos acentuada. O impacto da redução dos tempos de execução no sistema produtivo deve ser objeto mais estudos.

7.2.5 Outras Considerações

A recolha de ripas realizada pelo sistema colaborativo, introduz alterações no método de trabalho, com a eliminação de algumas tarefas, tais como a marcação com giz das peças, para distinguir os turnos, a mudança de orientação das ripas duplas, para otimização do espaço de paletização e o ajuste da posição das ripas simples na palete, abastecidas pela linha 1. Uma vez que o robô não muda a orientação das ripas duplas, poderá ser necessário mudar com maior frequência a palete que está a ser utilizada. No caso dos ajustes das peças na palete, sem esta atividade, que não é realizada pelo robô, poderão cair

algumas peças durante o transporte das paletes. Estas considerações devem ser objeto de estudo, após a implementação do robô.

8. CONCLUSÕES

O principal objetivo desta dissertação foi o acompanhamento da implementação de um sistema robótico numa unidade de produção e a análise do seu impacto na organização e nos fatores humanos. Em primeiro lugar, procedeu-se à avaliação ergonómica do PT onde será implementado o sistema colaborativo, com o objetivo da avaliação detalhada do risco de LMERT que lhe está associado. Com o auxílio da ferramenta de diagnóstico *XSens*, foram calculadas as pontuações RULA e respetivos níveis de ação, para cada elemento das atividades de recolha de ripas simples e recolha de ripas duplas, na estação de trabalho *Pré-Master Frame*. De modo a proteger o colaborador, a pontuação RULA associada a cada atividade foi a maior pontuação obtida nos seus elementos, uma vez que os elementos são constantes em todos os ciclos, ciclos estes curtos e repetitivos. A pontuação para a recolha de ripas simples foi de 7, o que corresponde a um nível de ação 4, que indica que o PT deve ser redesenhado e medidas de prevenção de risco implementadas o quanto antes. O mesmo acontece para a recolha de ripas duplas, que também recebeu uma pontuação RULA de 7, correspondente a um nível de ação 4. A introdução do robô colaborativo nesta estação de trabalho visa atenuar a sobrecarga física das tarefas e libertar os colaboradores para operações menos exigentes fisicamente. Associado a este posto está também o abastecimento de um carrinho de transporte, por parte de colaboradores, com ripas destinadas aos Tabuleiros. Esta atividade foi também avaliada e também obteve uma pontuação RULA de 7. Sugere-se que no futuro este abastecimento seja feito diretamente pelo robô colaborativo, com as ripas que recolhe da *Pré-Master Frame*, de forma a reduzir também o risco de LMERT associada a esta atividade. Ainda relacionado com o estudo do PT onde o *cobot* será implementado, foi realizado um estudo de tempo, com o objetivo de obter os TP associados às recolhas de ripas pelos colaboradores nas três linhas da *Pré-Master Frame*, para posterior comparação com os tempos de execução do robô. O TP da linha 1 é de 21,03 segundo, da linha 2 é 16,52 segundos e da linha 3 é de 12, 01 segundos. Estes valores têm adjacentes um número diferente de elementos, e de modo a comparar de forma mais direta os tempos das três linhas, foram também calculados os tempos apenas para os elementos em comum. Estes tempos foram de 8,81 segundos para a linha 1, 8,89 segundos para a linha 2 e novamente, 12,01 segundos para a linha 3. Verificou-se então que as ações isoladas de alcance de peças e a sua colocação nas paletes, têm tempos semelhantes na linha 1 e 2 e um tempo superior na linha 3, provavelmente relacionado com o facto desta linha ser mais recente que as duas primeiras e a destreza nesse posto inferior.

Em segundo lugar, procedeu-se ao desenvolvimento de uma nova ferramenta de mapeamento, o WIDEA, a partir de uma ferramenta já existente e desenvolvida no Departamento de Produção e Sistemas da

Universidade do Minho, o WID. O principal motivo para a criação desta ferramenta foi a procura pela sinergia entre produção *Lean* e Ergonomia. Para tal, introduziu-se no diagrama um indicador ergonómico, representativo do risco de LMERT, associado aos PT. Este nível de risco foi calculado utilizando o método KIM, já em utilização na empresa. Esta integração entre produção *Lean* e Ergonomia com uma ferramenta de mapeamento, já tinha sido conseguida com o ErgoVSM. No entanto, o VSM tradicional apresenta algumas limitações, apresentadas nesta dissertação, e o WID, e, por conseguinte, também o WIDEA, vêm colmatar essas mesmas limitações e vêm facilitar a identificação da cadeia de valor e os seus respetivos desperdícios. Após a recolha de toda a informação necessária à construção do gráfico, foi possível chegar a algumas conclusões em relação ao sistema produtivo da empresa. Esforços para a redução de WIP devem ser aplicados e focados na estação da *Shelling*. Também associado à *Shelling* podemos encontrar o maior esforço de transporte, no abastecimento da estação. A estação da Multi-Serra possui o maior TS, que poderá estar relacionado com o elevado nível de WIP associado à mesma. O risco de LMERT é maior na Calibradora, Multi-Serra, Pré-*Master Frame* e Tabuleiros, o que significa é que necessário redesenhar estes PT e que medidas de prevenção devem ser tidas em consideração. O transporte com maior risco de LMERT associado é o realizado com carrinhos de transporte, ou seja, entre a Pré-*Master Frame* e os Tabuleiros. A partir deste estudo e da aplicação da ferramenta na empresa, foi possível testar e validar a ferramenta. Concluiu-se que o WIDEA permite auxiliar na identificação da cadeia de valor, na identificação dos principais desperdícios e na melhoria dos processos. Tudo isto, aliado à preocupação com o bem-estar e saúde dos colaboradores, figuras centrais nos processos produtivos.

De seguida, foi aplicado um questionário aos colaboradores do chão-de-fábrica. O questionário, contendo perguntas relacionadas com robótica e dirigidas aos colaboradores foi validado por Professores da área de Robótica da Universidade do Minho e por responsáveis na empresa. Com os resultados obtidos foi possível dinamizar uma sessão de esclarecimento, com o objetivo de facultar conhecimento aos colaboradores do chão-de-fábrica e esclarecer as suas principais dúvidas, com especial atenção para o conceito de robótica industrial e principais diferenças em relação à robótica industrial tradicional, a segurança destes sistemas colaborativos e a deteção de defeitos por parte dos *cobots*.

A última etapa desta dissertação foi o estudo do impacto da implementação do robô colaborativo na organização. Começou-se por descrever as futuras funções robô e os diferentes cenários em que será utilizado. Seguidamente, foi avaliado o impacto desta implementação no risco de LMERT associado ao posto e nos tempos das tarefas realizadas no mesmo. Verificou-se que dos três cenários em que o robô trabalhará, apenas um elimina por completo o risco de sobrecarga física, não havendo nenhum

colaborador humano a retirar ripas da *Pré-Master Frame*. Os outros dois cenários requerem sempre a presença de um colaborador a retirar ripas ou na linha 1, ou na linha 2, o que reflete na permanência do risco nesta estação de trabalho e implica a necessidade de se efetuar alterações na mesma. Em relação à deteção de defeitos, este controlo é mais detalhado quando realizado por um colaborador humano. O efeito da diminuição do nível de detalhe do controlo de qualidade, nos processos seguintes do sistema produtivo deve ser estudado. Relativamente ao impacto nos tempos de paletização, quando comparados os tempos de execução do robô, com os TP obtidos através do estudo de tempos, verifica-se que existe uma redução acentuada na duração da tarefa, para todas as linhas. Contudo, alguns elementos presentes na recolha manual de ripas não estão presentes na recolha efetuada pelo robô. Por isso mesmo, foram comparados os tempos de execução da tarefa pelo robô com os tempos manuais apenas de alcance e colocação das peças na palete, na procura de um procedimento análogo para a comparação direta dos dois tempos. Desta análise, concluiu-se que existe redução dos tempos com a utilização do robô, apesar desta redução não ser tão acentuada como na primeira análise. A redução destes tempos deve ser objeto de estudos futuros, bem como o seu impacto no sistema produtivo. Por fim, foram tidos em conta outros aspetos, tais como a eliminação de algumas atividades, executadas apenas na recolha manual de ripa, tais como a mudança de orientação das ripas duplas quando colocadas nas paletes, a marcação com giz e os ajustes das ripas simples na palete. O efeito da eliminação destas ações deve ser tido em consideração após a implementação do robô.

As principais limitações ao longo deste trabalho derivam da pandemia de Covid-19, que introduziu elevada incerteza ao longo de todo o projeto, atrasou a implementação do robô, não permitindo acompanhar e estudar em detalhe o impacto real da sua implementação e limitou as visitas ao chão-de-fábrica. Além disso, as constantes alterações na zona de Montagem da empresa, devido aos testes realizados na máquina *Master Frame* dificultaram a recolha e análise de informação.

Desta forma, propõe-se, após a implementação do robô e normalização da sua utilização, bem como definição dos cenários em que já ser utilizado, o estudo do seu impacto real na organização, nomeadamente nos fatores de produção e humanos e nova aplicação da ferramenta WIDEA, de modo a identificar novamente os desperdícios após esta alteração do sistema. Propõe-se também novos estudos debruçados sobre a introdução de um indicador ergonómico na ferramenta, de modo a otimizar a sua utilização, por exemplos em sistemas onde um PT tem mais do que uma atividade associada, com diferentes riscos de LMERT.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A3. (2021). *Association for Advancing Automation*. <https://www.automate.org/>
- Aaltonen, I., & Salmi, T. (2019). Experiences and expectations of collaborative robots in industry and academia: Barriers and development needs. *Procedia Manufacturing*, 38(2019), 1151–1158. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.204>
- Abreu, P. (2001). *Mestrado em Automação, Instrumentação e Controlo*. <http://fe.up.pt/maic>
- Akella, P., Peshkin, M., Colgate, E., Wannasuphoprasit, W., Nagesh, N., Wells, J., Holland, S., Pearson, T., & Peacock, B. (1999). Cobots for the automobile assembly line. *Proceedings - IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 1, 728–733. <https://doi.org/10.1109/robot.1999.770061>
- Aradhya, A. S., & Kallurkar, S. P. (2014). A case study of just-in-time system in service industry. *Procedia Engineering*, 97(07588375573), 2232–2237. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.12.467>
- Arezes, P. M., Dinis-Carvalho, J., & Alves, A. C. (2010). Threats and Opportunities for Workplace Ergonomics in Lean Environments. *17th International Annual EurOMA Conference -Managing Operations in Service Economics*, 10.
- Armstrong, J. S. (1982). The value of formal planning for strategic decisions: Review of empirical research. *Strategic Management Journal*, 3(3), 197–211. <https://doi.org/10.1002/smj.4250030303>
- Asimov, I. (1942). *Astounding Science-Fiction* (J. John W. Campbell (Ed.)). Street & Smith Publications, Inc.
- Barosz, P., Gołda, G., & Kampa, A. (2020). Efficiency analysis of manufacturing line with industrial robots and human operators. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(8). <https://doi.org/10.3390/APP10082862>
- Belmonte, F. A. F., & Guimarães, L. B. de M. (2004). Fatores Humanos na Organização do Trabalho. In P. Alegre (Ed.), *Ergonomia de Processo*.
- Benešová, A., & Tupa, J. (2017). Requirements for Education and Qualification of People in Industry 4.0. *Procedia Manufacturing*, 11(June), 2195–2202. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.366>
- Bi, Z. M., Luo, M., Miao, Z., Zhang, B., Zhang, W. J., & Wang, L. (2021). Safety assurance mechanisms of collaborative robotic systems in manufacturing. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 67(April 2020). <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2020.102022>
- Bittencourt, W., Alves, A., & Arezes, P. (2011). *REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE A SINERGIA ENTRE LEAN PRODUCTION E ERGONOMIA*.

- Bjorkelund, A., Edstrom, L., Haage, M., Malec, J., Nilsson, K., Nugues, P., Robertz, S. G., Storkle, D., Blondell, A., Johansson, R., Linderoth, M., Nilsson, A., Robertsson, A., Stolt, A., & Bruyninckx, H. (2011). On the integration of skilled robot motions for productivity in manufacturing. *Proceedings - 2011 IEEE International Symposium on Assembly and Manufacturing, ISAM 2011*. <https://doi.org/10.1109/ISAM.2011.5942366>
- Blair, S., Robertson, S., Duthie, G., & Ball, K. (2020). Biomechanics of accurate and inaccurate goal-kicking in Australian football: Group-based analysis. *PLoS ONE*, *15*(11 November), 1–17. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0241969>
- Campos, J., & Garcia, P. (2008). Concordância de dois métodos observacionais na análise de postura de trabalho em Odontologia. *Revista de Odontologia Da UNESP*, *37*(2), 141–145. <http://rou.hostcentral.com.br/PDF/v37n2a07.pdf>
- Cardoso Junior, M. M. (2006). **Avaliação ergonômica: Revisão dos métodos para avaliação postural**. *Revista Produção Online*, *6*(3), 133–154. <https://doi.org/10.14488/1676-1901.v6i3.630>
- Carvalho, D. (2006). Fundamentos da Dinâmica da Produção. *Dinis Carvalho*, 1–5.
- Charalambous, G., Fletcher, S., & Webb, P. (2016). Development of a human factors roadmap for the successful implementation of industrial human-robot collaboration. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, *490*(January), 195–206. https://doi.org/10.1007/978-3-319-41697-7_18
- Cigrovski, V., Rupčić, T., Bon, I., Očić, M., & Krističević, T. (2020). How can xsens kinematic suit add to our understanding of a slalom turn: A case study in laboratory and field conditions. *Kinesiology*, *52*(2), 187–195. <https://doi.org/10.26582/k.52.2.4>
- Coelho, D. A. (2011). Human Factors and Ergonomics—a growing discipline with multiple goals. *Highlights - The Quarterly Newsletter from Inderscience Publishers*, October.
- Colim, a. (2009). Tarefas de manipulação manual de cargas: seleção de métodos de avaliação de risco. *Departamento de Produção de Sistemas, Master*, 332.
- Colim, A., Carneiro, P., Costa, N., Faria, C., Rocha, L., Sousa, N., Silva, M., Braga, A. C., Bicho, E., Monteiro, S., & Arezes, P. M. (2020). *Human-Centered Approach for the Design of a Collaborative Robotics Workstation*. 379–387. https://doi.org/10.1007/978-3-030-41486-3_41
- 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., Carneiro, P., Costa, N., Faria, C., Sousa, N., Rocha, L. A., & Arezes, P. (2021). Lean manufacturing and ergonomics integration: Defining productivity and wellbeing indicators in a

- human–robot workstation. *Sustainability (Switzerland)*, *13*(4), 1–21. <https://doi.org/10.3390/su13041931>
- Conseil des Communautés Européennes. (1989). Directive du Conseil 89/391/CEE. *Journal Officiel Des Communautés Européennes*, *183*(29), 8. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=celex%3A31989L0391>
- Corlett, E. N., & Bishop, R. P. (1976). A technique for assessing postural discomfort. *Ergonomics*, *19*(2), 175–182. <https://doi.org/10.1080/00140137608931530>
- Costa, L., & Arezes, P. (2003). *Introdução ao Estudo do Trabalho - Sebenta de apoio à disciplina de Ergonomia e Estudo do Trabalho I*.
- Cunha, R. (2018). *Estudo Comparativo entre Métodos de Avaliação Ergonómica em Postos de Triagem de Resíduos*.
- David, G. C. (2005). Ergonomic methods for assessing exposure to risk factors for work-related musculoskeletal disorders. *Occupational Medicine (Oxford, England)*, *55*(3), 190–199. <https://doi.org/10.1093/occmed/kqi082>
- Dinis-Carvalho, José. (2008). *Fundamentos de Produção. 2014*, 1–13. <http://pessoais.dps.uminho.pt/jdac/outros/FundamentosProd.pdf>
- Dinis-Carvalho, José, Guimarães, L., Moreira, F., Rodrigues, J., & Lima, R. M. (2014). Waste Identification Diagrams with OEE data. *XX International Conference on Industrial Engineering and Operations Management (ICIEOM 2014), 8th International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management (CIO2014) and International IIE Conference 2014*, 313–320.
- Dinis-Carvalho, Jose, 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>
- Dinis-Carvalho, José, Moreira, F., Bragança, S., Costa, E., Alves, A., & Sousa, R. (2015). Waste identification diagrams. *Production Planning and Control*, *26*(3), 235–247. <https://doi.org/10.1080/09537287.2014.891059>
- Dos Santos Vieira, R. R., Magalhães Correia, A. M., Duarte Lucena, A., & Martins da Silva, A. (2016). Estudo de tempos e métodos no processo produtivo de uma panificadora localizada em Mossoró/RN. *Gestão e Sociedade*, *9*(23), 977. <https://doi.org/10.21171/ges.v9i23.2029>
- Doutora, P., Ramos, M., Gomes, L., & Ricardo, D. (2017). *Cindy Jordão Silva Efeitos da introdução da dupla tarefa na aceleração e tempo de marcha da população idosa , medido com Xsens*.
- DTx-Digital Transformation Colab*. (2021). <https://www.dtx-colab.pt/dtx-apresentacao/>

- Dudek-Burlikowska, M., & Szewieczek, D. (2009). The Poka-Yoke Method as an Improving Quality Tool of Operations in the Process. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 36(1), 95–102.
- El Makrini, I., Elprama, S. A., Van Den Bergh, J., Vanderborght, B., Knevels, A.-J., Jewell, C. I. C., Stals, F., De Coppel, G., Ravyse, I., Potargent, J., Waegeman, T., & Jacobs, A. (2018). Working with Walt: How a Cobot Was Developed and Inserted on an Auto Assembly Line. *IEEE Robotics and Automation Magazine*, 25(2), 51–58. <https://doi.org/10.1109/MRA.2018.2815947>
- Elprama, S. A., Jewell, C. I. C., Jacobs, A., El Makrini, I., & Vanderborght, B. (2017). Attitudes of factory workers towards industrial and collaborative robots. *ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*, 113–114. <https://doi.org/10.1145/3029798.3038309>
- European Agency for Safety and Health at Work. (2007). Introduction to work - related musculoskeletal disorders. *European Agency for Safety and Health at Work*, 1681(2123), 4–8. https://osha.europa.eu/sites/default/files/publications/documents/en/publications/factsheets/71/Factsheet_71_-_Introduction_to_work-related_musculoskeletal_disorders.pdf
- Faria, C., Colim, A., Cunha, J., Oliveira, J., Costa, N., Carneiro, P., Monteiro, S., Bicho, E., Rocha, L. A., & Arezes, P. (2020). Safety Requirements for the Design of Collaborative Robotic Workstations in Europe – A Review. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 1204 AISC, 225–232. https://doi.org/10.1007/978-3-030-50946-0_31
- Fast-Berglund, A., Palmkvist, F., Nyqvist, P., Ekered, S., & Akerman, M. (2016). Evaluating Cobots for Final Assembly. *Science Direct*.
- Ferreira, L. A. F., Santos, A. C. de S. G. dos, Dias, J. de O., & Pessanha, L. P. M. (2018). Engenharia de métodos: uma revisão de literatura sobre o estudo de tempos e movimentos. *REFAS: Revista FATEC Zona Sul*, ISSN-e 2359-182X, Vol. 4, Nº. 3, 2018, 4(3), 1. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6606598&info=resumen&idioma=ENG%0Ahttps://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6606598&info=resumen&idioma=POR%0Ahttps://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6606598>
- Forde, M. S., Punnett, L., & Wegman, D. H. (2002). Pathomechanisms of work-related musculoskeletal disorders: Conceptual issues. *Ergonomics*, 45(9), 619–630. <https://doi.org/10.1080/00140130210153487>
- Friis, B. D., Officer, C. C., & Robots, U. (2016). Cobots Expand Automation Opportunities. *IFR Federation of Robotics*, 5–7. https://ifr.org/downloads/press/02_2016/Editorial_WR_Industrial_Robots_2016.pdf

- Galín, R., Meshcheryakov, R., Kamesheva, S., & Samoshina, A. (2020). Cobots and the benefits of their implementation in intelligent manufacturing. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 862(3). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/862/3/032075>
- Garcia, W., & Schincariol, F. (2019). *Introdução à Robótica Industrial*.
- Genaidy, A. M., Al-Shedi, A. A., & Karwowski, W. (1994). Postural stress analysis in industry. *Applied Ergonomics*, 25(2), 77–87. [https://doi.org/10.1016/0003-6870\(94\)90068-x](https://doi.org/10.1016/0003-6870(94)90068-x)
- Goossens, R. H. M. (2018). Preface. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 605(July), VII–VIII. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-60828-0>
- Greco, J. (2004). Human factors engineering. *Cadalyst*, 21(7). <https://doi.org/10.1201/9781315273297-15>
- Hedelind, M., & Jackson, M. (2011). How to improve the use of industrial robots in lean manufacturing systems. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 22(7), 891–905. <https://doi.org/10.1108/17410381111160951>
- Holzmann, P. (1982). ARBAN-A new method for analysis of ergonomic effort. *Applied Ergonomics*, 13(2), 82–86. [https://doi.org/10.1016/0003-6870\(82\)90183-1](https://doi.org/10.1016/0003-6870(82)90183-1)
- IEA. (n.d.). <https://iea.cc/>
- International Federation of Robotics. (2017). The Impact of Robots on Productivity, Employment and Jobs
A positioning paper by the International Federation of Robotics April 2017 A positioning paper by the International Federation of Robotics. *Positioning Paper by the International Federation of Robotics*, April, 1–14. https://ifr.org/img/office/IFR_The_Impact_of_Robots_on_Employment.pdf
- Jan de Kok, Vroonhof, P., Snijders, J., Roullis, G., Clarke, M., Peereboom, K., Dorst, P. van, Isusi, I., Observatory, E. R., Agency, E., & Agency, E. (2019). Work-related musculoskeletal disorders: prevalence, costs and demographics in the EU. In *European Agency for Safety and Health at Work*. <https://doi.org/10.2802/66947>
- Jarebrant, C., Winkel, J., Johansson Hanse, J., Mathiassen, S. E., & Öjmertz, B. (2016). ErgoVSM: A Tool for Integrating Value Stream Mapping and Ergonomics in Manufacturing. *Human Factors and Ergonomics In Manufacturing*, 26(2), 191–204. <https://doi.org/10.1002/hfm.20622>
- Jarebrant, Caroline, Hanse, J. J., Harlin, U., Ulin, K., Winkel, J., Edwards, K., Birgisdóttir, B. D., & Gunnarsdóttir, S. (2016). *Ergonomic Value Stream Mapping Tool and User Guide*.
- Jorge, G. A., & Miyake, D. I. (2015). Estudo comparativo das ferramentas para mapeamento das atividades executadas pelos consumidores em processos de serviço. *Production*, 26(3), 590–613. <https://doi.org/10.1590/0103-6513.128413>

- José, L. (2015). *O USO DE SENSORES INERCIAIS (Xsens) NO PROJETO DE PRODUTO APLICADO A FERRAMENTA AGRICOLA*.
- Karhu, O., Kansi, P., & Kuorinka, I. (1977). Correcting working postures in industry: A practical method for analysis. *Applied Ergonomics*, *8*(4), 199–201. [https://doi.org/10.1016/0003-6870\(77\)90164-8](https://doi.org/10.1016/0003-6870(77)90164-8)
- Kester, L., Kirschner, P. A., Van Merriënboer, J. J. G., & Baumer, A. (2001). Just-in-time information presentation and the acquisition of complex cognitive skills. *Computers in Human Behavior*, *17*(4), 373–391. [https://doi.org/10.1016/S0747-5632\(01\)00011-5](https://doi.org/10.1016/S0747-5632(01)00011-5)
- Kildal, J., Tellaeché, A., Fernández, I., & Maurtua, I. (2018). Potential users' key concerns and expectations for the adoption of cobots. *Procedia CIRP*, *72*, 21–26. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.03.104>
- Klussmann, Andre, 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*, 15412. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2016-015412>
- Klussmann, Andre, Liebers, F., Gebhardt, H., Rieger, M. A., Latza, U., & Steinberg, U. (2017). Risk assessment of manual handling operations at work with the key indicator method (KIM-MHO) - determination of criterion validity regarding the prevalence of musculoskeletal symptoms and clinical conditions within a cross-sectional study. *BMC Musculoskeletal Disorders*, *18*(1), 1–13. <https://doi.org/10.1186/s12891-017-1542-0>
- Klussmann, André, Steinberg, U., Liebers, F., Gebhardt, H., & Rieger, M. A. (2010). The Key Indicator Method for Manual Handling Operations (KIM-MHO) - Evaluation of a new method for the assessment of working conditions within a cross-sectional study. *BMC Musculoskeletal Disorders*, *11*. <https://doi.org/10.1186/1471-2474-11-272>
- Kolberg, D., & Zühlke, D. (2015). Lean Automation enabled by Industry 4.0 Technologies. *IFAC-PapersOnLine*, *28*(3), 1870–1875. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.359>
- Kuorinka, I., Jonsson, B., Kilbom, A., Vinterberg, H., Biering-Sørensen, F., Andersson, G., & Jørgensen, K. (1987). Standardised Nordic questionnaires for the analysis of musculoskeletal symptoms. *Applied Ergonomics*, *18*(3), 233–237. [https://doi.org/10.1016/0003-6870\(87\)90010-x](https://doi.org/10.1016/0003-6870(87)90010-x)
- Láuar, A., Lima, M. de, Lima, V. de, Silva, J. da, & Paschoarelli, L. (2010). A origem da ergonomia na Europa: contribuições específicas da Inglaterra e da França. *Scielo Books*, *43*(January), 249–257.

- Liker, J. K., & Morgan, J. M. (2006). The toyota way in services: The case of lean product development. *Academy of Management Perspectives*, 20(2), 5–20. <https://doi.org/10.5465/AMP.2006.20591002>
- Lisboa, T. (2010). *Robótica e Automação*.
- Lucio, C. do C., Alves, S. A., Razza, B. M., Silva, J. C. P. da, & Paschoarelli, L. C. (2010). Trajetória da ergonomia no Brasil: aspectos expressivos da aplicação em design. *A Evolução Histórica Da Ergonomia No Mundo e Seus Pioneiros.*, 103.
- Marques, A. L., Carrijo, R. S., & Morais, A. S. De. (2020). *ROBÓTICA COLABORATIVA : IMPORTÂNCIA E DESAFIOS*. 1–5.
- Marras, W. S. (2006). Fundamentals and Assessment Tools for Occupational Ergonomics. In *Fundamentals and Assessment Tools for Occupational Ergonomics*. <https://doi.org/10.1201/9781420003635>
- Maurer-Grubinger, C., Haenel, J., Fraeulin, L., Holzgreve, F., Wanke, E. M., Groneberg, D. A., & Ohlendorf, D. (2020). The movement profile of habitual vacuuming as a cyclic movement—a pilot study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(23), 1–12. <https://doi.org/10.3390/ijerph17238793>
- McAtamney, L., & Nigel Corlett, E. (1993). RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders. *Applied Ergonomics*, 24(2), 91–99. [https://doi.org/10.1016/0003-6870\(93\)90080-S](https://doi.org/10.1016/0003-6870(93)90080-S)
- MHI. (2021). Benefits.
- Middlesworth, M. (2020). *ErgoPlus*. A Step-by-Step Guide to the RULA Assessment Tool.
- Moura, J. L. S., & Moura, R. A. (2019). Interação Humano - Máquina No Sistema Produtivo Da Indústria 4.0 Visando Aumentar a Produtividade. *VI CIMATech - Congress of Industrial Management and Aeronautical Technology*, 1, 217–227.
- Nagaraj, T. S., Jeyapaul, R., Vimal, K. E. K., & Mathiyazhagan, K. (2019). *Production Planning & Control The Management of Operations Integration of human factors and ergonomics into lean implementation: ergonomic-value stream map approach in the textile industry Integration of human factors and ergonomics into lean implementation: ergonomic-value stream map approach in the textile industry*. <https://doi.org/10.1080/09537287.2019.1612109>
- Nahavandi, S. (2019). *Industry 5.0-A Human-Centric Solution*. <https://doi.org/10.3390/su11164371>
- Ohno, T. (1988). *Toyota Production System: Beyond Large Scale Production*. Productivity Press.
- Oppenheim, A. N. (1992). *Questionnaire Design, Interviewing and Attitude Measurement* (Continuum

- (Ed.). Biddles, Lda.
- Pazienza, A., Macchiarulo, N., Vitulano, F., Fiorentini, A., Cammisa, M., Rigutini, L., Di Iorio, E., Globo, A., & Trevisi, A. (2019). A novel integrated industrial approach with cobots in the age of industry 4.0 through conversational interaction and computer vision. *CEUR Workshop Proceedings*, 2481.
- Peixoto, A. C., Dinis-Carvalho, J., Colim, A., Sousa, N., Rocha, L. A., & Oliveira, J. (2022). WIDEA: Waste Identification Diagram with Ergonomic Assessment—Towards the Integration of Lean and Ergonomics. *Studies in Systems, Decision and Control*, 406, 443–453. https://doi.org/10.1007/978-3-030-89617-1_40
- Pienkowski, M. (2014). Waste Measurement Techniques for Lean Manufacturing Companies. *International Journal of Lean Six Sigma*, 5(1), 1–16.
- Pires, J. N. (2015). *Os Desafios da Robótica Industrial Os Desafios da Robótica Industrial. January 2003*.
- Quenehen, A., Pocachard, J., & Klement, N. (2019). Process optimisation using collaborative robots - comparative case study. *IFAC-PapersOnLine*, 52(13), 60–65. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.131>
- Röddecke, S., & Schultz, K. (2013). Aus dem LASI: Handlungsanleitung zur Beurteilung der Arbeitsbedingungen bei manuellen Arbeitsprozessen LV 57. In *Sicher Ist Sicher* (Issue 7). <https://doi.org/10.37307/j.2199-7349.2013.07.13>
- Roetenberg, D., Luinge, H., & Slycke, P. (2009). Xsens MVN: full 6DOF human motion tracking using miniature inertial sensors. *Xsens Motion Technologies BV, ..., January 2009*, 1–7. http://www.xsens.com/images/stories/PDF/MVN_white_paper.pdf
- Romero, D., Gaiardelli, P., Powell, D., Wuest, T., & Thüerer, M. (2019). Rethinking jidoka systems under automation & learning perspectives in the digital lean manufacturing world. *IFAC-PapersOnLine*, 52(13), 899–903. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.309>
- Rother, M., & Shook, J. (1999). *Learning to See: Value Stream Mapping to Create Value and Eliminate Muda* (Jim Womack (Ed.)). Lean Enterprise Institute.
- Sá, J. C., Dinis-Carvalho, J., & Sousa, R. M. (2011). *Waste Identification Diagram*. 1–7.
- Şahin, L. (2020). Impacts of industrial robot usage on international labor markets and productivity: Evidences from 22 oecd countries. *Journal of International Studies*, 13(3), 59–67. <https://doi.org/10.14254/2071-8330.2020/13-3/4>
- Santos, J. M. S. dos. (2009). Desenvolvimento de um guião de selecção de métodos para análise do risco de lesões músculo-esqueléticas relacionadas com o trabalho (LMERT). *Tese de Mestrado de Engenharia Humana - Universidade Do Minho*.

<http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/10706>

- Saunders, M. N. K., Lewis, P., & Thornhill, A. (2019). "Research Methods for Business Students" Chapter 4: Understanding research philosophy and approaches to theory development. In *Researchgate.Net* (Issue January). www.pearson.com/uk
- Sauppe, A., & Mutlu, B. (2015). The social impact of a robot co-worker in industrial settings. *Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings, 2015-April*, 3613–3622. <https://doi.org/10.1145/2702123.2702181>
- Schepers, M., Giuberti, M., & Bellusci, G. (2018). Xsens MVN : Consistent Tracking of Human Motion Using Inertial Sensing. *Xsens Technologies, March*, 1–8. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.22099.07205>
- Shah, R., & Ward, P. T. (2003). Lean manufacturing: context, practice bundles, and performance. *Journal of Operations Management*, 21(2), 129–149. [https://doi.org/10.1016/S0272-6963\(02\)00108-0](https://doi.org/10.1016/S0272-6963(02)00108-0)
- Shingo, S., & Dillon, A. P. (1989). *A Study of the Toyota Production System From an Industrial Engineering Viewpoint*. Productivity Press.
- Valério, R., & Garcia, M. V. R. (2014). *O futuro da robótica*.
- Veloso, M., Biswas, J., Coltin, B., & Rosenthal, S. (2015). CoBots: Robust symbiotic autonomous mobile service robots. *IJCAI International Joint Conference on Artificial Intelligence, 2015-Janua(ljcai)*, 4423–4429.
- Vidal, M. C. (2000). Introdução à ergonomia. *Curso De Especialização Em Ergonomia Contemporânea Do Rio De Janeiro*, 35.
- Vido, M., Scur, G., Massote, A. A., & Lima, F. (2021). The impact of the collaborative robot on competitive priorities: Case study of an automotive supplier. *Gestao e Producao*, 27(4), 1–21. <https://doi.org/10.1590/0104-530X5358-20>
- Wallén, J. (2008). The history of the industrial robot. *Linköpings Universitet*, 18. <http://liu.diva-portal.org/smash/get/diva2:316930/FULLTEXT01.pdf>
- Wang, F. (2020). Analysis of human mechanics structure in national Tai Chi movement. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 17(2), 1–9. <https://doi.org/10.1177/1729881420915069>
- Womack, J., Jones, D., & Roos, D. (1990). *The Machine That Changed the World: The Story of Lean Production, Toyota's Secret Weapon in the Global Car Wars That Is Now Revolutionizing World Industry* (F. Press (Ed.)).
- Womack, J. P., & Jones, D. T. (1997). Lean Thinking—Banish Waste and Create Wealth in your Corporation. *Journal of the Operational Research Society*, 48(11), 1148–1148.

<https://doi.org/10.1038/sj.jors.2600967>

Zhang, J. T., Novak, A. C., Brouwer, B., & Li, Q. (2013). Concurrent validation of Xsens MVN measurement of lower limb joint angular kinematics. *Physiological Measurement*, *34*(8).
<https://doi.org/10.1088/0967-3334/34/8/N63>

APÊNDICE 1 - AVALIAÇÃO ERGONÓMICA – RECOLHA RIPAS SIMPLES

Marcação das Peças com Giz

Ao selecionarmos a posição crítica para este elemento, correspondente a passar o giz nas peças num movimento descendente, obtemos uma pontuação RULA de 5 – Figura 39. Este valor representa um nível de risco médio, que implica que, num futuro próximo, deverão ser introduzidas alterações ao PT. Esta pontuação deve-se ao facto de a posição do antebraço estar entre os 20° e os 45°, a posição do braço estar entre os 0° e os 60° e ao facto deste último trabalhar na parte lateral do corpo. O pulso tem elevada inclinação e adicionalmente a isso apresenta rotação. Relativamente à análise do pescoço, troco e pernas, nesta posição o colaborador revela uma inclinação do pescoço superior a 20° e inclinação do tronco entre os 0° e os 20°. As pernas estão apoiadas.

C. RULA score

1-2 negligible risk, no action required
3-4 low risk, change may be needed
5-6 medium risk, further investigation, change soon
7 very high risk, implement change now

Table C.		Neck, trunk and leg score						
		1	2	3	4	5	6	7+
Wrist and arm score	1	1	2	3	3	4	5	5
	2	2	2	3	4	4	5	5
	3	3	3	3	4	4	5	6
	4	3	3	3	4	5	6	6
	5	4	4	4	5	6	7	7
	6	4	4	5	6	6	7	7
	7	5	5	6	6	7	7	7
	8+	5	5	6	7	7	7	7

Figura 39 - Pontuação RULA para posição crítica na marcação das peças.

Colocação das Peças no Carrinho

Neste elemento, a posição mais crítica corresponde ao momento em que o colaborador, com as peças na mão, se movimenta para as colocar no carrinho. Esta posição tem uma pontuação RULA de 6 – Figura 40. Este valor representa um nível de risco médio, o que implica que, num futuro próximo, deverão ser introduzidas alterações ao posto de trabalho. A posição do antebraço encontra-se entre os 20° e os 45°, a posição do braço estar entre os 0° e os 60° e este último trabalha na parte lateral do corpo. O pulso tem elevada inclinação e apresenta rotação. Relativamente à análise do pescoço, troco e pernas, nesta posição o operário tem o pescoço em extensão e a inclinação do tronco entre os 0° e os 20°. As pernas encontram-se apoiadas.

C. RULA score

1-2 negligible risk, no action required

3-4 low risk, change may be needed

5-6 medium risk, further investigation, change soon

7 very high risk, implement change now

Table C.		Neck, trunk and leg score						
		1	2	3	4	5	6	7+
Wrist and arm score	1	1	2	3	3	4	5	5
	2	2	2	3	4	4	5	5
	3	3	3	3	4	4	5	6
	4	3	3	3	4	5	6	6
	5	4	4	4	5	6	7	7
	6	4	4	5	6	6	7	7
	7	5	5	6	6	7	7	7
	8+	5	5	6	7	7	7	7

Figura 40 - Pontuação RULA para posição crítica na colocação das peças no carrinho.

APÊNDICE 2 – AVALIAÇÃO ERGONÓMICA – RECOLHA RIPA DUPLA

Alcançar as Peças

A posição escolhida para esta análise corresponde ao momento em que o colaborador se debruça sobre a máquina para alcançar as peças. Esta posição tem associada uma pontuação RULA de 7 – Figura 41. correspondente a um nível de risco alto que implica a introdução imediata de alterações no posto de trabalho. Neste caso, a posição do antebraço encontra-se a entre os 45° e os 90°, a posição do braço entre os 0° e os 60° e este último trabalha na parte lateral do corpo. O pulso tem elevada inclinação e apresenta rotação. Nesta posição o colaborador tem o pescoço em extensão e a inclinação do tronco encontra-se entre os 0° e os 20°. O colaborador não tem as pernas apoiadas, visto ter que erguer uma das pernas para alcançar as peças.

C. RULA score

1-2 negligible risk, no action required
 3-4 low risk, change may be needed
 5-6 medium risk, further investigation, change soon
 7 very high risk, implement change now

Table C.		Neck, trunk and leg score						
		1	2	3	4	5	6	7+
Wrist and arm score	1	1	2	3	3	4	5	5
	2	2	2	3	4	4	5	5
	3	3	3	3	4	4	5	6
	4	3	3	3	4	5	6	6
	5	4	4	4	5	6	7	7
	6	4	4	5	6	6	7	7
	7	5	5	6	6	7	7	7
	8+	5	5	6	7	7	7	7

Figura 41 - Pontuação RULA para posição crítica no alcance de peças.

Mudar Orientação das Peças

Esta posição tem associada uma pontuação RULA de 4 – Figura 42. Este valor representa um nível de risco baixo, que implica a necessidade de mais observações e que poderá ser necessário introduzir modificações no futuro. O antebraço encontra-se entre os 45° e os 90° e a posição do braço entre os 0° e os 60 e este último trabalha na parte lateral do corpo. O pulso apresenta uma ligeira inclinação e adicionalmente a isso apresenta rotação. Relativamente à análise do pescoço, troco e pernas, nesta posição o colaborador tem o pescoço com inclinação entre os 0° e os 10° e inclinação do tronco entre os 0° e os 20°. As pernas, estão apoiadas. Associado a este movimento, temos também pontuação associada à utilização dos músculos, pelo facto desta atividade ser exercida mais do que 4 vezes por minuto.

C. RULA score

1-2 negligible risk, no action required
3-4 low risk, change may be needed
 5-6 medium risk, further investigation, change soon
 7 very high risk, implement change now

Table C.		Neck, trunk and leg score						
		1	2	3	4	5	6	7+
Wrist and arm score	1	1	2	3	3	4	5	5
	2	2	2	3	4	4	5	5
	3	3	3	3	4	4	5	6
	4	3	3	3	4	5	6	6
	5	4	4	4	5	6	7	7
	6	4	4	5	6	6	7	7
	7	5	5	6	6	7	7	7
	8+	5	5	6	7	7	7	7

Figura 42 - Pontuação RULA para posição crítica ao endireitar as peças.

Marcação das Peças com Giz

Ao seleccionarmos a posição mais crítica, correspondente ao início da marcação com giz das peças num movimento descendente, obtemos uma pontuação RULA de 5 – Figura 43. Este valor representa um nível de risco médio, que implica que, num futuro próximo, deverão ser introduzidas alterações ao posto de trabalho. Esta pontuação deve-se ao facto de a posição do antebraço estar entre os 20° e os 45°, a posição do braço estar entre os 0° e os 60° e ao facto deste último trabalhar na parte lateral do corpo. O pulso tem elevada inclinação e adicionalmente a isso apresenta rotação. Relativamente à análise do pescoço, troco e pernas, nesta posição o colaborador revela uma inclinação do pescoço superior a 20° e inclinação do tronco entre os 0° e os 20°. As pernas estão apoiadas.

C. RULA score

1-2 negligible risk, no action required
 3-4 low risk, change may be needed
5-6 medium risk, further investigation, change soon
 7 very high risk, implement change now

Table C.		Neck, trunk and leg score						
		1	2	3	4	5	6	7+
Wrist and arm score	1	1	2	3	3	4	5	5
	2	2	2	3	4	4	5	5
	3	3	3	3	4	4	5	6
	4	3	3	3	4	5	6	6
	5	4	4	4	5	6	7	7
	6	4	4	5	6	6	7	7
	7	5	5	6	6	7	7	7
	8+	5	5	6	7	7	7	7

Figura 43 - Pontuação RULA para posição crítica na marcação das peças.

Colocação das Peças no Carrinho

Neste caso, a posição mais crítica corresponde ao momento em que o colaborador, com as peças na mão, se movimenta para as colocar no carrinho. Esta posição tem então uma pontuação RULA de 6 –

Figura 44. Este valor representa um nível de risco médio, o que implica que, num futuro próximo, deverão ser introduzidas alterações ao posto de trabalho. A posição do antebraço encontra-se entre os 45° e os 90°, a posição do braço estar entre os 0° e os 60° e este último trabalha na parte lateral do corpo. O pulso tem elevada inclinação e apresenta rotação. Relativamente à análise do pescoço, troco e pernas, nesta posição o colaborador tem o pescoço em extensão e a inclinação do tronco entre os 0° e os 20°. As pernas estão apoiadas.

C. RULA score

1-2 negligible risk, no action required

3-4 low risk, change may be needed

5-6 medium risk, further investigation, change soon

7 very high risk, implement change now

Table C.		Neck, trunk and leg score						
		1	2	3	4	5	6	7+
Wrist and arm score	1*	1	2	3	3	4	5	5
	2	2	2	3	4	4	5	5
	3	3	3	3	4	4	5	6
	4	3	3	3	4	5	6	6
	5	4	4	4	5	6	7	7
	6	4	4	5	6	6	7	7
	7	5	5	6	6	7	7	7
	8+	5	5	6	7	7	7	7

Figura 44 - Pontuação RULA para posição crítica na colocação das peças no carrinho.

APÊNDICE 3 – AVALIAÇÃO ERGONÓMICA – ABASTECIMENTO DO CARRINHO DE TRANSPORTE

Abastecer com Ripas Sem Cubos

A posição crítica selecionada é quando o operador endireita as ripas antes de pegar nelas, que corresponde a uma pontuação RULA de 7- Figura 45. Este valor representa um nível de risco alto, que implica que deverão ser introduzidas mudanças no posto imediatamente. Esta pontuação deve-se à posição do antebraço estar acima dos 90°, a posição do braço estar entre os 0° e os 60° e ao facto deste último trabalhar na parte lateral do corpo. O pulso tem elevada inclinação e adicionalmente apresenta rotação. Relativamente à análise do pescoço, tronco e pernas, nesta posição o colaborador revela extensão do pescoço e inclinação do tronco entre os 0° e os 20°. As pernas estão apoiadas. O carácter repetitivo da tarefa acrescenta pontuação no que diz respeito à utilização dos músculos, visto a tarefa repetir-se mais do que 4 vezes por minuto.

C. RULA score

1-2 negligible risk, no action required
 3-4 low risk, change may be needed
 5-6 medium risk, further investigation, change soon
7 very high risk, implement change now

Table C.		Neck, trunk and leg score						
		1	2	3	4	5	6	7+
Wrist and arm score	1	1	2	3	3	4	5	5
	2	2	2	3	4	4	5	5
	3	3	3	3	4	4	5	6
	4	3	3	3	4	5	6	6
	5	4	4	4	5	6	7	7
	6	4	4	5	6	6	7	7
	7	5	5	6	6	7	7	7
	8+	5	5	6	7	7	7	7

Figura 45 - Pontuação RULA para posição crítica no abastecimento do carrinho com ripas sem cubos.

Abastecer com Ripas Simples

A posição com maior risco corresponde a encostar as ripas no carrinho. A pontuação RULA é de 7- Figura 46. Este valor representa um nível de risco alto, que implica que deverão ser introduzidas imediatamente mudanças no posto. Esta pontuação deve-se à posição do antebraço estar entre os 45° e os 90°, a posição do braço estar entre os 0° e os 60° e ao facto deste último trabalhar na parte lateral do corpo. O pulso tem elevada inclinação e adicionalmente apresenta rotação. Relativamente à análise do pescoço, tronco e pernas, nesta posição o colaborador revela extensão do pescoço e inclinação do tronco entre os 20° e os 60°. As pernas estão apoiadas. O carácter repetitivo da tarefa acrescenta pontuação no que diz respeito à utilização dos músculos, visto a tarefa repetir-se mais que do que 4 vezes por minuto.

C. RULA score

- 1-2 negligible risk, no action required
- 3-4 low risk, change may be needed
- 5-6 medium risk, further investigation, change soon
- 7 very high risk, implement change now**

Table C.		Neck, trunk and leg score						
		1	2	3	4	5	6	7+
Wrist and arm score	1	1	2	3	3	4	5	5
	2	2	2	3	4	4	5	5
	3	3	3	3	4	4	5	6
	4	3	3	3	4	5	6	6
	5	4	4	4	5	6	7	7
	6	4	4	5	6	6	7	7
	7	5	5	6	6	7	7	7
	8+	5	5	6	7	7	7	7

Figura 46 - Pontuação RULA para posição crítica no abastecimento do carrinho com ripas simples.

Elemento Abastecer Ripas Duplas

A posição crítica, correspondente a encostar as ripas no carrinho, obtemos uma pontuação RULA de 7- Figura 47. Este valor representa um nível de risco alto, o que implica que deverão ser introduzidas imediatamente mudanças no posto de trabalho. Esta pontuação deve-se à posição do antebraço estar entre os 20° e os 45°, a posição do braço estar entre os 0° e os 60° e ao facto deste último trabalhar na parte lateral do corpo. O pulso tem elevada inclinação e adicionalmente a isso apresenta rotação. Relativamente à análise do pescoço, tronco e pernas, nesta posição o colaborador revela extensão do pescoço e inclinação do tronco entre os 20° e os 60°. As pernas estão apoiadas. O carácter repetitivo da tarefa acrescenta pontuação no que diz respeito à utilização dos músculos, visto a tarefa repetir-se mais do que 4 vezes por minuto.

C. RULA score

- 1-2 negligible risk, no action required
- 3-4 low risk, change may be needed
- 5-6 medium risk, further investigation, change soon
- 7 very high risk, implement change now**

Table C.		Neck, trunk and leg score ⁽ⁱ⁾						
		1	2	3	4	5	6	7+
Wrist and arm score ⁽ⁱ⁾	1	1	2	3	3	4	5	5
	2	2	2	3	4	4	5	5
	3	3	3	3	4	4	5	6
	4	3	3	3	4	5	6	6
	5	4	4	4	5	6	7	7
	6	4	4	5	6	6	7	7
	7	5	5	6	6	7	7	7
	8+	5	5	6	7	7	7	7

Figura 47 - Pontuação RULA para posição crítica no abastecimento do carrinho com ripas duplas.

APÊNDICE 4 –REGISTO DE TO E FA

Tabela 29 - Tempos observados, fator de atividade e observações necessárias para a atividade de recolha de ripas na linha 1.

Ciclo	Alcançar Peças		Marcar Peças		Colocar na Palete		Endireitar na Palete	
	TO	FA	TO	FA	TO	FA	TO	FA
1	2,98	95	2,11	125	4,21	75	7,09	85
2	3,42	80	3,42	75	3,58	90	6,72	90
3	3,28	85	2,23	115	3,13	105	6,42	95
4	3,66	75	2,71	95	2,76	120	5,45	110
5	3,35	85	2,45	105	3,95	85	7,1	85
6	3	95	2,04	130	4,24	75	7,01	85
7	3,16	90	1,89	140	5,16	65	7,15	85
8	3,55	80	2,31	115	4,1	80	6,16	100
9	2,62	105	1,67	160	3,48	95	6,47	95
10	3,32	85	2,17	120	4,08	80	6,98	85
11	3,38	80	2,71	95	3,26	100	6,97	85
12	2,78	100	3,08	85	3,76	85	7,48	80
13	2,72	100	1,21	215	2,95	110	4	150
14	3,89	70	3,2	80	3,56	90	6,06	100
15	3,41	80	1,76	150	3,66	90	8,58	70
16	2,33	120	2,43	110	3,91	85	5,92	100
17	3,21	85	4,11	65	2,92	110	7,1	85
18	2,5	110	2,43	110	2,83	115	4,93	125
19	2,15	130	2,84	90	3,59	90	7,07	85
20	3,17	90	3,16	85	2,96	110	3,99	150
21	2,99	95	2,62	100	3,19	100	6,49	95
22	3,15	90	2,18	120	4,06	80	9,43	65
23	2,73	100	2,8	95	3,78	85	7,44	80
24	2,38	115	2,13	120	2,55	130	7,93	75
25	2,31	120	2,87	90	3,2	100	6,15	199
26	2,03	135	3,36	80	2,86	115	7,61	80
27	2,75	100	4,24	60	3,65	90	6,53	95
28	2,8	100	3,1	85	3,69	90	5,54	110
29	1,87	150	2,94	90	2,95	110	9,53	65
30	3,36	85	2,36	110	2,66	125	6,84	90
31	3,33	85	3,42	75	2,44	135	9,12	65
32	3,39	80	3,37	80	2,61	125	8,48	70

33	2,56	110	2,16	120	3,06	105	7,45	80
34	3,41	80	2,46	105	3,57	90	6,23	95
35	3,16	90	2,54	105	3,46	15	7,75	80
36	2,32	120	3,5	75	3,15	105	6,04	100
37	1,76	160	3,24	80	3,36	95	6,82	90
38	2,89	95	2,31	115	3,57	90	6,94	85
39	1,98	140	3,1	85	3,88	85	6,06	100
40	2,78	100	2,12	120	2,04	160	7,04	85
Média	2,896	100	2,669	104	3,396	97	6,852	94
Desvio Padrão	0,520	-	0,638	-	0,595	-	1,195	-
N'	22	-	38	-	20	-	20	-

Tabela 30 - Tempos observados, fator de atividade e observações necessárias para a atividade de recolha de ripas na linha 2.

Ciclo	Alcançar Peças		Marcar Peças		Mudar Orientação		Colocar na Palete	
	TO	FA	TO	FA	TO	FA	TO	FA
1	2,57	120	3,26	100	2,67	80	3,27	100
2	2,47	125	3,1	105	1,95	115	3,56	95
3	3,1	110	2,3	140	2,56	85	2,23	150
4	2,78	110	3,08	105	2	110	4	85
5	3,45	90	2,45	135	1,33	165	2,72	120
6	2,56	120	3,26	100	3,23	70	2,5	135
7	3,08	100	3,53	90	3,63	60	4,09	80
8	2,63	120	4,02	80	2,2	100	2,78	120
9	1,94	160	3,77	85	1,91	115	2,92	115
10	3,34	95	3,11	105	2,11	105	2,52	130
11	4,12	75	2,89	115	3,13	70	3,56	95
12	2,76	110	3,55	90	2,43	90	3,24	100
13	3,34	95	2,99	110	2	110	4,1	80
14	3,26	95	3,45	95	1,78	125	3,67	90
15	3,12	100	3	110	2,45	90	3,56	95
16	3,56	85	3,19	100	2,1	105	2,86	115
17	2,34	130	3,67	90	1,76	125	3,66	90
18	4,43	70	4,05	80	1,91	115	3,64	90
19	2,3	135	2,78	115	1,88	115	2,58	130
20	2,45	125	2,68	120	2,27	95	3,88	84
21	2,76	110	2,87	115	2,32	95	2,87	115

22	3,67	85	3,06	105	2,14	105	4,35	75
23	3,23	96	3,13	105	1,79	125	3,21	105
24	2,65	115	4,11	80	2,44	90	3,78	90
25	3,31	95	3,19	100	2,34	95	3	110
26	3,34	95	3,09	105	1,98	110	3,67	90
27	2,34	130	2,74	120	2,66	85	2,98	110
28	4,12	75	4,23	75	1,86	120	3,54	95
29	3,65	85	3,55	90	2,43	90	3,56	95
30	2,56	120	3,21	100	2,1	105	3,78	90
31	3,24	95	3,43	95	1,87	120	2,12	155
32	3,14	100	3,2	100	2,44	90	3,42	95
33	2,78	110	2,79	115	2,87	75	4,25	80
34	4,15	75	2,44	135	1,92	115	3,87	85
35	3,21	95	3,53	90	3,66	60	3,67	90
36	2,87	110	3,33	100	2,16	100	3,33	100
37	2,54	120	4,21	75	3,27	65	3,21	105
38	3,45	90	3,78	85	2,33	95	3,65	90
39	2,34	130	3,56	90	1,88	115	2,86	115
40	3,45	90	2,54	130	2,21	100	2,54	130
41	3,12	100	3,33	100	1,76	125	3,11	105
42	4,22	75	6,32	50	1,99	110	4,45	75
43	3,17	100	3,4	95	2,05	105	3,12	105
44	3,07	100	2,97	110	2,45	90	3,64	90
45	3	105	2,87	115	1,95	115	3,58	95
46	2,92	105	2,8	115	2,49	90	2,55	130
47	3,11	100	3,11	105	2,23	100	3	110
Média	3,085	104	3,296	101	2,274	101	3,329	103
Desvio Padrão	0,553	-	0,639	-	0,484	-	0,558	-
N'	21	-	25	-	30	-	19	-

Tabela 31 - Tempos observados, fator de atividade e observações necessárias para a atividade de recolha de ripas na linha 3.

Ciclos	Alcançar Peças		Colocar no Carrinho	
	TO	FA	TO	FA
1	3,67	95	5,23	95
2	4,35	80	4,56	105
3	4,56	80	5,32	90
4	4,87	75	6,34	75
5	3,23	110	5,03	95

6	4,78	75	4,44	110
7	5,13	70	4,34	110
8	4,33	80	5,32	90
9	5,17	70	4,98	100
10	4,54	80	3,55	135
11	4,03	90	5,01	95
12	3,56	100	5,47	90
13	4,37	80	4,87	100
14	6,21	60	4,65	105
15	4,23	85	4,98	100
16	3,69	95	5,32	90
17	4,25	85	5,67	85
18	4,05	90	4,83	100
19	5,67	65	4,99	100
20	3,23	110	5,96	80
21	5,34	65	6,32	75
22	4,67	75	4,87	100
23	4,87	75	4,56	105
24	4,56	80	5,43	90
25	3,44	105	4,87	100
26	5,78	60	6,17	80
27	4,32	80	6,05	80
28	4,56	80	4,78	100
29	6,21	55	5,78	85
30	4,78	75	4,32	115
31	4,54	80	6,9	70
32	4,91	75	4,45	110
33	4,25	85	6,75	70
34	3,66	95	3	160
35	4,32	80	6,89	70
36	5,67	65	4,32	115
37	3,76	95	5,87	85
Média	4,529	81	5,194	96
Desvio Padrão	0,753	-	0,855	-
N'	18	-	18	-

APÊNDICE 5 – AJUSTAMENTOS DE DIFICULDADE

Tabela 32 - Ajustamentos de dificuldade para a recolha de ripas na linha 1.

	Categoria 1	Categoria 2	Categoria 3	Categoria 4	Categoria 5	Categoria 6	Total
	Ajuste	Ajuste	Ajuste	Ajuste	Ajuste	Ajuste	
Alcançar Peças	8	0	0	0	2	1	11
Marcar Peças	8	0	0	0	2	1	11
Colocar na Palete	8	0	0	0	2	5	15
Endireitar na Palete	2	0	0	0	2	5	9

Tabela 33 - Ajustamentos de dificuldade para a recolha de ripas na linha 2.

	Categoria 1	Categoria 2	Categoria 3	Categoria 4	Categoria 5	Categoria 6	Total
	Ajuste	Ajuste	Ajuste	Ajuste	Ajuste	Ajuste	
Alcançar Peças	8	0	0	0	2	1	11
Marcar Peças	8	0	0	0	2	1	11
Mudar Orientação	2	0	0	0	2	5	9
Colocar na Palete	0	0	0	0	2	5	7

Tabela 34 - Ajustamentos de dificuldade para a recolha de ripas na linha 3.

	Categoria 1	Categoria 2	Categoria 3	Categoria 4	Categoria 5	Categoria 6	Total
	Ajuste	Ajuste	Ajuste	Ajuste	Ajuste	Ajuste	
Alcançar Peças	8	0	0	0	2	1	11
Colocar na Palete	8	0	0	0	2	5	15

APÊNDICE 6 – CORREÇÕES

Fixas:

Correções para base de fadiga: 4%

Correções para necessidades pessoais: 5%

Variáveis:

Quadro correções variáveis:

A. Esforço físico resultante da natureza do trabalho

A1 - Força Desenvolvida Média: 1,00 kg: 0

A2 – Posição de Trabalho: De pé ou andando com uma carga: 6

A3 – Vibrações: 0

A4 – Ciclo Curto: 10-11: 5

A5 – Vestuário de Trabalho Incómodo: 0

B. Tensão mental

B1 – Concentração/Ansiedade: 0

B2 – Monotonia: Operador executando trabalho repetitivo 5

B3 – Esforços Visuais: Trabalho industrial normal.: 0

B4 – Ruído Oficina de carpintaria industrial. 4

C. Esforço físico ou tensão mental resultante da natureza das condições de trabalho

C1 – Temperatura e Grau Higrométrico: Até 75 %; 14,1 - 25 °C: 3

C2 – Ventilação: Fábricas com condições de trabalho análogas às dos escritórios.: 0

C3 – Fumos e Vapores: 0

C4 – Poeira: 0

C5 – Sujidade: 0

C6 – Humidade: 1

Total: 24

Conversão: 14%

TOTAL: 23 %

APÊNDICE 7 – CÁLCULOS PARA DEFINIR A PROCURA E O PESO DE CADA REFERÊNCIA

Tabela 35 - Tabela relativa à procura das três referências para 3 semanas.

Procura c/ dados de 3 semanas	KT	KS	LT
Média (peças/semana)	32770,33	9945	11137,5
Total (peças/semana)	53852,83		

$$\text{Peças por dia} = \frac{53852,83}{5} = 10770,57 \text{ peças/dia}$$

$$\text{Peças por turno} = \frac{10770,57}{3} = 3590,189 \text{ peças/turno}$$

$$\text{LT por dia} = \frac{11137,5}{5} = 2227,5 \text{ peças/ dia}$$

$$\text{LT por turno} = \frac{2227,5}{3} = 742,4 \text{ peças/turno}$$

$$\text{Procura sem LT} = 3590,189 - 742,4 = 2847,7 \text{ peças/turno}$$

$$\text{Peso referência KT} = \frac{32770,33}{53852,83} = 0,61$$

$$\text{Peso referência KS} = \frac{9945}{53852,83} = 0,18$$

$$\text{Peso referência LT} = \frac{11137,5}{53852,83} = 0,21$$

APÊNDICE 8 - CÁLCULO DE TEMPOS TAKT

Shelling

t: 60 minutos (para este nível de procura, trabalha apenas 1h por turno, para abastecer a *Master Frame*)

Q: 3590,189 peças

$$TT = \left(\frac{60}{3590,189} \right) \times 60 = 1 \text{ segundo}$$

Multi-Serra

t: 180 minutos (trabalha 3h por turno, para abastecer a *Master Frame*)

Q: 3590,189 peças

$$TT = \left(\frac{180}{3590,189} \right) \times 60 = 3,01 \text{ segundos}$$

Calibradora

t: 60 minutos (trabalha 1h por turno, para abastecer a *Master Frame*)

Q: 742,5 peças (apenas trabalha com *L7*)

$$TT = \left(\frac{60}{742,5} \right) \times 60 = 4,85 \text{ segundos}$$

OMGAS

t: 240 minutos (trabalha 4h por turno, para abastecer a *Master Frame*)

Q: 3590,189 peças

$$TT = \left(\frac{240}{3590,189} \right) \times 60 = 4,01 \text{ segundos}$$

Pré-Master Frame

t: 480 minutos (trabalha todo o turno).

Q: 3590,189 peças

$$TT = \left(\frac{480}{3590,189} \right) \times 60 = 8,02 \text{ segundos}$$

Master Frame

t: 480 minutos (trabalha todo o turno).

Q: 2992,17 peças

$$TT: \left(\frac{480}{2992,17} \right) \times 60 = 9,63 \text{ segundos}$$

Tabuleiros

t: 180 minutos (trabalha 3 h, com material que vem da *Master Frame*)

Q: 598,0149 peças

$$TT: \left(\frac{180}{598,0149} \right) \times 60 = 13,04 \text{ segundos}$$

APÊNDICE 9 – CÁLCULO DE TEMPOS DE CICLO

$$\text{Volume } KT: 2 \times 0,792 \times 0,032 \times 0,0135 + 2 \times 0,742 \times 0,032 \times 0,028 + 0,742 \times 0,032 \times 0,028 + 12 \times 0,04 \times 0,032 \times 0,021 = 0,002 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume } KS: 2 \times 0,786 \times 0,032 \times 0,0135 + 2 \times 0,667 \times 0,032 \times 0,0135 + 0,667 \times 0,032 \times 0,0135 + 4 \times 0,04 \times 0,032 \times 0,018 + 8 \times 0,055 \times 0,032 \times 0,018 = 0,002 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume } LT: 2 \times 1,204 \times 0,029 \times 0,025 + 2 \times 0,554 \times 0,029 \times 0,025 + 4 \times 0,0220 \times 0,120 \times 0,0293 = 0,006 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{média}} = \frac{0,002 \times 0,6085 + 0,002 \times 0,1847 + 0,006 \times 0,2068}{0,6085 + 0,2068 + 0,1847} = 0,003 \text{ m}^3$$

$$\text{Área } KT: 2 \times 0,792 \times 0,032 + 2 \times 0,742 \times 0,032 + 0,742 \times 0,032 + 12 \times 0,04 \times 0,032 = 0,137 \text{ m}^2$$

$$\text{Área } KS: 2 \times 0,768 \times 0,032 + 2 \times 0,667 \times 0,032 + 0,667 \times 0,032 + 4 \times 0,04 \times 0,032 + 8 \times 0,055 \times 0,032 = 0,132 \text{ m}^2$$

$$\text{Área } LT: 2 \times 1,204 \times 0,029 + 2 \times 0,554 \times 0,029 + 4 \times 0,0220 \times 0,120 = 0,208 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{média}} = \frac{0,137 \times 0,6085 + 0,132 \times 0,1847 + 0,208 \times 0,2068}{0,6085 + 0,2068 + 0,1847} = 0,151 \text{ m}^2$$

Shelling

Taxa de produção: 0,5 m³/min

$$TC = \frac{0,003}{0,5} \times 60 = 0,36 \text{ segundos}$$

Multi-Serra

Taxa de produção: 4 m²/min

$$TC = \frac{0,151}{4} \times 60 = 2,27 \text{ segundos}$$

Calibradora

Taxa de produção: 20 m/min

comprimento cubos: 0,22 m 4 cubos: 0,88 m

$$TC = \frac{0,88}{20} \times 60 = 2,64 \text{ segundos}$$

OMGAS

fornecido pela empresa

Pré-Master Frame

Taxa de produção: 7 peças/min

Eficiência: 80 %

$$TC = \frac{1}{7} \times 0,8 \times 60 = 6,86 \text{ segundos}$$

Master Frame

Taxa de produção = 7 peças /min

$$TC = \frac{1}{7} \times 60 = 8,57 \text{ segundos}$$

Tabuleiros

Fornecido pela empresa

APÊNDICE 10 – CÁLCULO DOS NÍVEIS DE WIP

Shelling

$$V=135,685 \text{ m}^3$$

$$WIP = \frac{135,685}{0,003} = 45228 \text{ peças}$$

Multi-Serra

$$V=15,061 \text{ m}^3$$

$$WIP = \frac{15,061}{0,003} = 5020 \text{ peças}$$

Calibradora

não tem WIP, mas por motivos de representação, usa-me o mínimo visível, correspondente a 400 peças.

OMGAS

$$V=589 \text{ m}^2$$

$$WIP = \frac{589}{0,151} = 3900 \text{ peças}$$

Pré-Master Frame

$$V=2,991 \text{ m}^3$$

$$WIP = \frac{2,991}{0,003} = 997 \text{ peças}$$

Master Frame

$$V=1,203 \text{ m}^3$$

$$WIP = \frac{1,203}{0,003} = 401 \text{ peças}$$

Tabuleiros:

8 carrinhos (32 paletes)

Cada palete tem 38 peças

$$WIP=1216 \text{ peças}$$

APÊNDICE 11 – AVALIAÇÃO ERGONÓMICA DO PROCESSO COM RECURSO AO KIM

Multi-Serra e Calibradora

Na Multi-Serra e na Calibradora o trabalho é semelhante e consiste em abastecer e retirar grandes quantidades de material da máquina, com o auxílio de um tapete com rolamentos. Desta forma, o KIM mais indicado é o KIM-BF. Relativamente à pontuação de tempo, a tarefa de abastecimento e recolha de material ocorre enquanto esta está a trabalhar, o que pode corresponder a um turno de 8 horas. Assim a pontuação é de 10. Relativamente à força exercida, esta corresponde à movimentação de carga superior a 100 kg sobre um tapete de rolamentos, com elevada frequência, o que corresponde a uma pontuação de 50. A multiplicação deste valor pela pontuação de tempo já garante uma pontuação superior a 100, o que indica um elevado nível de risco (Tabela 36).

Tabela 36 - Tabela-resumo do KIM-WBF para a Multi-Serra.

	Multi-Serra		Comentários
	WBF	<i>Time rating</i>	10
<i>Force exertion</i>		50	<i>Moving loads on rollertarcks <100 kg</i>
<i>Simmetry</i>		-	-
<i>Body posture</i>		-	-
<i>Unfaourable working conditions</i>		-	-
<i>Work organization</i>		-	-
Avaliação		50	
		500	
Risco	4	> ou igual a 100	

OMGAS

Abastecimento

Nas máquinas OMGAS os operadores procedem ao seu abastecimento, carregando a máquina com aproximadamente 20 kg de material, aproximadamente 200 vezes por turno. Após colocação do material na zona de abastecimento da máquina, os também alinham o material, empurrando-o já com este pousado na máquina. Dessa forma, foram escolhidos dois KIM's para avaliar o risco ergonómico neste posto, o KIM -LHC e o KIM-WBF, sendo o segundo para avaliar as tarefas de ajuste do material. Relativamente ao KIM-LHC, começou-se por determinar a pontuação de tempo, correspondente a 3,5, pois o operador abastece a máquina aproximadamente 200 vezes por turno. Relativamente aos outros indicadores e começando pela carga, esta pesa aproximadamente 20 kg e, como os operadores são

todos do sexo masculino, neste indicador a pontuação é de 11. Quanto à manipulação da carga, esta é assimétrica, não havendo assimetria na distribuição da carga pelos dois braços, o que resulta numa pontuação de 2. A postura corporal obtém uma pontuação de 4, pois aliados aos 3 pontos da inclinação do tronco ao longo da tarefa acresce-lhe 1 ponto, pelo facto de os braços estarem distantes do corpo. Relativamente às condições de trabalho desfavoráveis, esta categoria obtém 3 pontos, somatório dos 2 pontos relacionados com a posição da mão ao longo da tarefa, com 1 ponto associado à dificuldade em agarrar a carga. A organização do trabalho recebe 2 pontos, devido à rara variação da carga de trabalho. O somatório da pontuação destes indicadores resulta em 22 pontos, que multiplicados pela pontuação de tempo culminam em 77 pontos (Tabela 37), o que corresponde um nível 3 de risco.

Tabela 37 - Tabela-resumo do KIM-LHC para o abastecimento das OMGAS.

LHC	OMGAS Abastecimento		Comentários
	<i>Time rating</i>	3,5	<i>Up to 220</i>
	<i>Load weight</i>	11	<i>15-20 kg (men)</i>
	<i>Load handling</i>	2	<i>Assymmetrically</i>
	<i>Body posture</i>	4	<i>3 +1 (hands distant from body)</i>
	<i>Unfavourable working conditions</i>	3	
	<i>Work organization</i>	2	<i>Restricted</i>
	Avaliação	22 77	
Risco	3	50 - <100	

Para o KIM-BF, a pontuação de tempo é de 6 pontos, sendo que o operador só ajusta as peças uma em cada duas vezes que abastece a máquina. Em relação aos outros indicadores, e começando pelo indicador de tipo de força, estas são consideradas moderadas, correspondente a uma pontuação de 6. A assimetria na tarefa é deficiente, correspondente a uma pontuação de 2. A postura corporal recebe uma pontuação de 3 e as condições de trabalho obtém uma pontuação de 3, correspondente ao somatório dos 2 pontos da posição da mão/braço ao longo da tarefa com 1 ponto relacionado com a dificuldade em agarrar o material. Finalmente, a organização do trabalho recebe 2 pontos, pelo mesmo motivo referido no KIM anterior. O somatório destas pontuações resulta em 16 pontos, que multiplicados pela pontuação de tempo correspondem a um nível 3 de risco (96 pontos) (Tabela 38). Conclui-se então que o nível de risco associado ao abastecimento das OMGAS, tendo em conta os dois KIM's utilizados, corresponde ao nível 3.

Tabela 38 - Tabela-resumo do KIM-WBF para o abastecimento das OMGAS.

WBF	OMGAS Abastecimento		Comentários
	<i>Time rating</i>	6	<i>6 - 100 aprox. 107 min</i>
	<i>Force exertion</i>	6	<i>Moderate forces (moving)</i>
	<i>Simmetry</i>	2	<i>Assimetrically</i>
	<i>Body posture</i>	3	<i>Standing, trunk twisting</i>
	<i>Unfaourable working conditions</i>	3	<i>2 (hand position) +1 (grip)</i>
	<i>Work organization</i>	2	<i>Restricted</i>
	Avaliação	16	
	96		
Risco	3	50 - <100	

Recolha

Na retirada de material das OMGAS, o KIM escolhido, assim como no abastecimento foi o LHC. O operador, assim que a máquina dispensa o material, pega no mesmo e coloca-o numa palete. A carga continua a ser de aproximadamente 20 kg e a tarefa ocorre aproximadamente 200 vezes durante as 8 horas de trabalho. Assim, começou-se por determinar a pontuação de tempo que corresponde a 3,5. Relativamente aos outros indicadores e começando pela carga, esta continua a pesar aproximadamente 20 kg, correspondente a uma pontuação de 11 (operadores do sexo masculino). Quanto à manipulação da carga, esta é simétrica, sendo a carga manipulada e distribuída pelos dois braços, o que resulta numa pontuação de 0. A postura corporal obtém uma pontuação de 0, não havendo inclinação ou rotação do tronco. Relativamente às condições de trabalho desfavoráveis, esta categoria obtém 2 pontos, somatório do ponto relacionado com a posição da mão ao longo da tarefa, com o ponto associado à dificuldade em agarrar a carga. A organização do trabalho recebe 2 pontos, pelas mesmas razões do abastecimento. O somatório da pontuação destes indicadores resulta em 15 pontos, que multiplicados pela pontuação de tempo culminam em 52,5 pontos, o que corresponde a um nível 3 de risco (Tabela 39). Desta forma, e olhando para os resultados do abastecimento e da recolha de material das OMGAS, conclui-se que neste posto de trabalho, o risco geral é de nível 3.

Tabela 39 - Tabela-resumo do KIM - LHC para a recolha de material das OMGAS.

LHC	OMGAS Recolha		Comentários
	<i>Time rating</i>	3,5	<i>Up to 220</i>
	<i>Load weight</i>	11	<i>15-20 kg (men)</i>
	<i>Load handling</i>	0	
	<i>Body posture</i>	0	
	<i>Unvafourable 118orking conditions</i>	2	
	<i>Work organization</i>	2	<i>Restricted</i>
	Avaliação	15	
		52,5	
Risco	3	50 - <100	

Pré-Master Frame

A tarefa realizada nesta estação consiste na recolha de peças pré-montadas da máquina, antes que sigam para montagem automática. O operador tem de alcançar as peças, transporta-las e coloca-las num carrinho. A carga pesa aproximadamente 3 kg e a tarefa é realizada ao longo de todo o turno. Assim foi escolhido o KIM-MHO para o alcance das peças e marcação com giz das mesmas e o KIM-LHC para o seu transporte e colocação no carrinho. Começando pelo KIM-MHO, a pontuação de tempo é de 7, correspondendo a 7 horas. Relativamente aos outros indicadores e ao tipo de força exercida, esta é considerada moderada, correspondendo a 4,5 pontos. A qualidade da pega recebe uma pontuação de 2 e a posição do braço/mão recebe 1 ponto. As condições de trabalho são confortáveis e recebem 0 pontos. Já a postura corporal, sendo exclusivamente de pé, recebe 4 pontos. A organização do trabalho recebe 2 pontos, já que a variação do trabalho ocorre apenas quando há interrupções para corrigir problemas na máquina ou para abastecer a mesma. O somatório destas pontuações resulta em 13,5 pontos, que multiplicados pela pontuação de tempo representam um nível de risco 3 (94, 5 pontos) (Tabela 40).

Tabela 40 – Tabela-resumo do KIM-MHO para a Pré-Master Frame.

MHO	Pré-Montagem		Comentários
	<i>Time rating</i>	7	<i>430 min aprox. 7 horas</i>
	<i>Type of force</i>	4,5	<i>Moderate forces (holding 2,5 + moving)</i>
	<i>Force transfer</i>	2	<i>Restricted</i>
	<i>Hand/arm position</i>	1	<i>Restricted</i>
	<i>Unfavourable working conditions</i>	0	<i>Good</i>
	<i>Body posture/movement</i>	4	<i>Exclusively standing</i>
	<i>Work organization</i>	2	<i>Restricted</i>
	Avaliação	13,5 94,5	
Risco	3	50 - <100	

Utilizando o KIM-LHC e com a tarefa a repetir-se aproximadamente 1000 vezes ao turno, a pontuação de tempo é de 7 pontos. Nos outros indicadores, a carga recebe 6 pontos. Isto acontece porque as operadoras são do sexo feminino e o peso varia entre os 3 e os 5 kg. O manuseamento da carga recebe 0 pontos, uma vez que as duas mãos são utilizadas de forma simétrica. relativamente à postura corporal, esta recebe 6 pontos, uma vez que o operador tem de se inclinar para a frente no início da tarefa e a posição onde pousa a carga varia ao longo da mesma (5 pontos). Aliado a isso, há rotação do tronco na colocação das peças no carrinho (1 ponto). As condições de trabalho recebem 2 pontos, um para a posição da mão/braço e outro para a dificuldade em agarrar as ripas. A organização do trabalho recebe 2 pontos, pelos mesmos motivos referidos no KIM anterior. O somatório das pontuações destes indicadores resulta em 16 pontos, que multiplicados pela pontuação de tempo culmina em 112 pontos. O risco do posto é então de nível 4, quando o KIM-LHC é utilizado (Tabela 41). De forma a proteger o operador, existindo risco de nível 4, é este que fica atribuído ao posto, apesar do nível ser inferior quando o outro KIM (MHO) é utilizado.

Tabela 41 – Tabela-resumo do KIM-LHC para a Pré-Master Frame.

LHC	Pré-Montagem		Comentários
	<i>Time rating</i>	7	<i>Aprox. 1000 x /shift</i>
	<i>Load weight</i>	6	<i>3-5 kg; women</i>
	<i>Load handling</i>	0	<i>Both hands</i>
	<i>Body posture</i>	6	<i>5 +1 Twisting trunk</i>
	<i>Unfavourable working conditions</i>	2	<i>1+1</i>
	<i>Work organization</i>	2	<i>Restricted</i>
	Avaliação	16	
		112	
Risco	4	> ou igual a 100	

Master Frame

Na *Master Frame* a tarefa consiste em abastecer a máquina com ripas e cubos. Isto acontece, no máximo, 50 vezes por turno com cargas entre os 10 e os 15 kg. A tarefa é realizada por operadoras do sexo feminino. Estas pegam no material, pousado em paletes ao lado da máquina, e procedem ao abastecimento da mesma. Assim, o KIM mais indicado para esta tarefa é o KIM-LHC. A pontuação de tempo obtida é de 2 pontos, correspondente a aproximadamente 30 vezes que a tarefa é realizada por turno. Relativamente aos outros indicadores, a pontuação para a carga é de 12 pontos, correspondente a uma carga entre os 10 e os 15 kg e ao facto de as operadoras serem do sexo feminino. A manipulação da carga recebe 0 pontos, uma vez que as operadoras utilizam as duas mãos e o peso está igualmente distribuído pelos dois braços. Quanto à postura corporal, esta recebe 4 pontos, uma vez que há inclinação e rotação do tronco ao longo da tarefa. Relativamente às condições de trabalho, estas recebem 3 pontos, 2 pela posição das mãos e 1 pela dificuldade em agarrar o material. Finalmente, a organização do trabalho é boa, havendo variação das tarefas a realizar pelas operadoras. Assim, o somatório destes indicadores (19 pontos) multiplicado pela pontuação de tempo resulta em 38 pontos, que corresponde ao nível 2 de risco (Tabela 42).

Tabela 42 – Tabela-resumo do KIM-LHC para a *Master Frame*.

LHC	Master Frame		Comentários
	<i>Time rating</i>	2	<i>Aprox 30 times per shift</i>
	<i>Load weight</i>	12	<i>10-15 kg; women</i>
	<i>Load handling</i>	0	<i>Both hands</i>
	<i>Body posture</i>	4	<i>Twisting trunk</i>
	<i>Unfavourable working conditions</i>	3	<i>2+1</i>
	<i>Work organization</i>	0	<i>Good</i>
	Avaliação	19	
		38	
Risco	2	20 - <50	

Tabuleiros

Assim, há dois KIM's que têm de ser tidos em consideração, KIM-MHO e o KIM-LHC. Começando pelo MHO, a pontuação de tempo é de 7 pontos, correspondendo aos 430 minutos que as operadoras trabalham. Relativamente aos outros indicadores, o tipo de força é considerado moderado e recebe uma pontuação de 4,5 pontos. O manuseamento das peças recebe uma pontuação de 0, sendo fáceis de agarrar. Relativamente à posição da mão/braço, esta recebe 1 ponto. As condições de trabalho são confortáveis, o que corresponde a 0 pontos. Quanto à postura corporal, esta recebe 4 pontos, uma vez que o trabalho é feito exclusivamente de pé e há rotação do tronco ao longo da tarefa. Relativamente à organização do trabalho esta recebe 4 pontos, uma vez que as tarefas a que as operadoras estão sujeitas são extremamente repetitivas. O somatório das pontuações destes indicadores, multiplicado pela pontuação de tempo, resulta em 94, 5 pontos, o que corresponde ao nível 3 de risco (Tabela 43).

Tabela 43 – Tabela-resumo do KIM-MHO para os Tabuleiros.

MHO	Tabuleiros		Comentários
	<i>Time rating</i>	7	<i>430 min aprox. 7 horas</i>
	<i>Type of force</i>	4,5	<i>Moderate forces (holding 2, 5+moving 2)</i>
	<i>Force transfer</i>	0	<i>Easy to grip</i>
	<i>Hand/arm position</i>	1	<i>Restricted</i>
	<i>Unfavourable working conditions</i>	0	<i>Good</i>
	<i>Body posture</i>	4	<i>Exclusively standing; trunk twisting; working gripping</i>
	<i>Work organization</i>	4	<i>No variation</i>
	Avaliação	13,5 94,5	
Risco	3	50 - <100	

Relativamente ao LHC, a pontuação de tempo é de 6 pontos, uma vez que esta colocação de *frames* nas paletes acontece, aproximadamente, 600 vezes por turno. A pontuação de carga é de 6 pontos, uma vez que as operadoras são todas do sexo feminino e manipulam 3 a 5 kg. O manuseamento das peças é feito com as duas mãos e de forma simétrica, que corresponde a uma pontuação de 0. A postura corporal recebe 8 pontos, uma vez que há rotação do corpo, as mãos, quando transportam as peças, estão distantes do corpo e, ao pousar as peças, estão acima da altura dos ombros. Relativamente às condições de trabalho desfavoráveis, estas recebem 1 ponto, relacionado com a posição das mãos que as operadoras adotam. A organização do trabalho recebe 4 pontos, pelas mesmas razões referidas no KIM anterior. O somatório das pontuações resulta em 19 pontos, que multiplicados pela pontuação de tempo, corresponde a 114 pontos, ou seja, nível 4 de risco (Tabela 44). Ao posto de trabalho é atribuído o nível de risco 4, mesmo sabendo que considerando o KIM-MHO o nível de risco é inferior.

Tabela 44 – Tabela-resumo do KIM-LHC para os Tabuleiros.

LHC	Tabuleiros		Comentários
	<i>Time rating</i>	6	<i>Aprox. 600 x / turno</i>
	<i>Load weight</i>	6	<i>3-5 kg; women</i>
	<i>Load handling</i>	0	<i>Both hands</i>
	<i>Body posture</i>	8	<i>Twisting trunk; hands at distance; hands above shoulder</i>
	<i>Unfavourable working conditions</i>	1	<i>Hand/arm position</i>
	<i>Work organization</i>	4	<i>No variation</i>
	Avaliação	19 114	
Risco	4	> ou igual a 100	

APÊNDICE 12 – AVALIAÇÃO ERGONÓMICA DO TRANSPORTE COM RECURSO AO KIM

Para o transporte com recurso a carrinhos de transporte o KIM escolhido foi o KIM-PP. Relativamente à pontuação de tempo, esta tarefa recebe 7 pontos, porque apesar da distância a ser percorrida ser relativamente curta, este transporte corre várias vezes ao dia. Quanto à carga transportada, olhando para o tipo de carro utilizado e tendo em conta que a carga máxima são 100 kg, a pontuação é de 3. As condições do pavimento ao longo do percurso são boas, não havendo inclinações e relevo no piso, o que corresponde a 0 pontos. As condições de trabalho são favoráveis, o que corresponde a 0 pontos e as condições do carrinho de transporte são boas, o que corresponde, novamente a 0 pontos. Quando à postura do colaborador durante o transporte, esta tem frequentemente o corpo inclinado para frente, o que corresponde a 5 pontos. O somatório destas pontuações dá um total de 10 pontos, que multiplicados pela pontuação de tempo, corresponde a 70 pontos no total. Ou seja, este tipo de transporte tem um nível de risco 3 associado (Tabela 45).

Tabela 45 - Tabela-resumo do KIM-PP para os o transporte com recurso a um carrinho.

PP	Carrinho de Transporte		Comentários
	<i>Time rating</i>	7	Up to 210 min
	<i>Load weight</i>	3	Swivel castors; load up to 100 kg
	<i>Driveway conditions</i>	0	None
	<i>Unfavourable working conditions</i>	0	None
	<i>Unfavourable properties</i>	0	None
	<i>Body posture</i>	5	Body Inclined
	<i>Work organizations</i>	2	Restricted
	Avaliação	10	
	70		
Risco	3	50 - <100	

Relativamente ao transporte com empilhadoras, o KIM utilizado foi o *Awkward Body Posture* (ABP). A pontuação de tempo nesta atividade são 10 pontos, uma vez que este transporte ocorre durante todo o turno. A carga nas costas recebe 2 pontos, uma vez que a maioria do trabalho é feito sentado, podendo haver a adoção de posturas inadequadas. Contudo, existe a possibilidade de o colaborador se levantar. A carga nos ombros e pernas recebe uma pontuação de 0 pontos, visto não haver grandes esforços a este nível. As condições de trabalho desfavoráveis, no que diz respeito à postura recebe 1 ponto, porque o colaborador, ao manobrar a empilhadora recorre ocasionalmente à torção do tronco. As restantes condições de trabalho, nomeadamente as condições de visibilidade e do piso são boas, o que

corresponde a 0 pontos. O somatório dos indicadores resulta em 3 pontos, que multiplicados pela pontuação de tempo dá um total de 30 pontos, correspondente a um nível 2 de risco (Tabela 46).

Tabela 46 - Tabela-resumo do KIM-ABP para os transportes com recurso a empilhadoras.

ABP	Empilhadora		Comentários
	<i>Time rating</i>	10	All shift
	<i>Loads on the back</i>	2	Mainly seated, can get up
	<i>Loads on shoulder</i>	0	No
	<i>Loads on knees</i>	0	No
	<i>Unfavourable working conditions</i>	1	Twisting trunk
	<i>Further work conditions</i>	0	Good
	Avaliação	3	
		30	
Risco	2	20 - <50	

APÊNDICE 13 – WIDEA

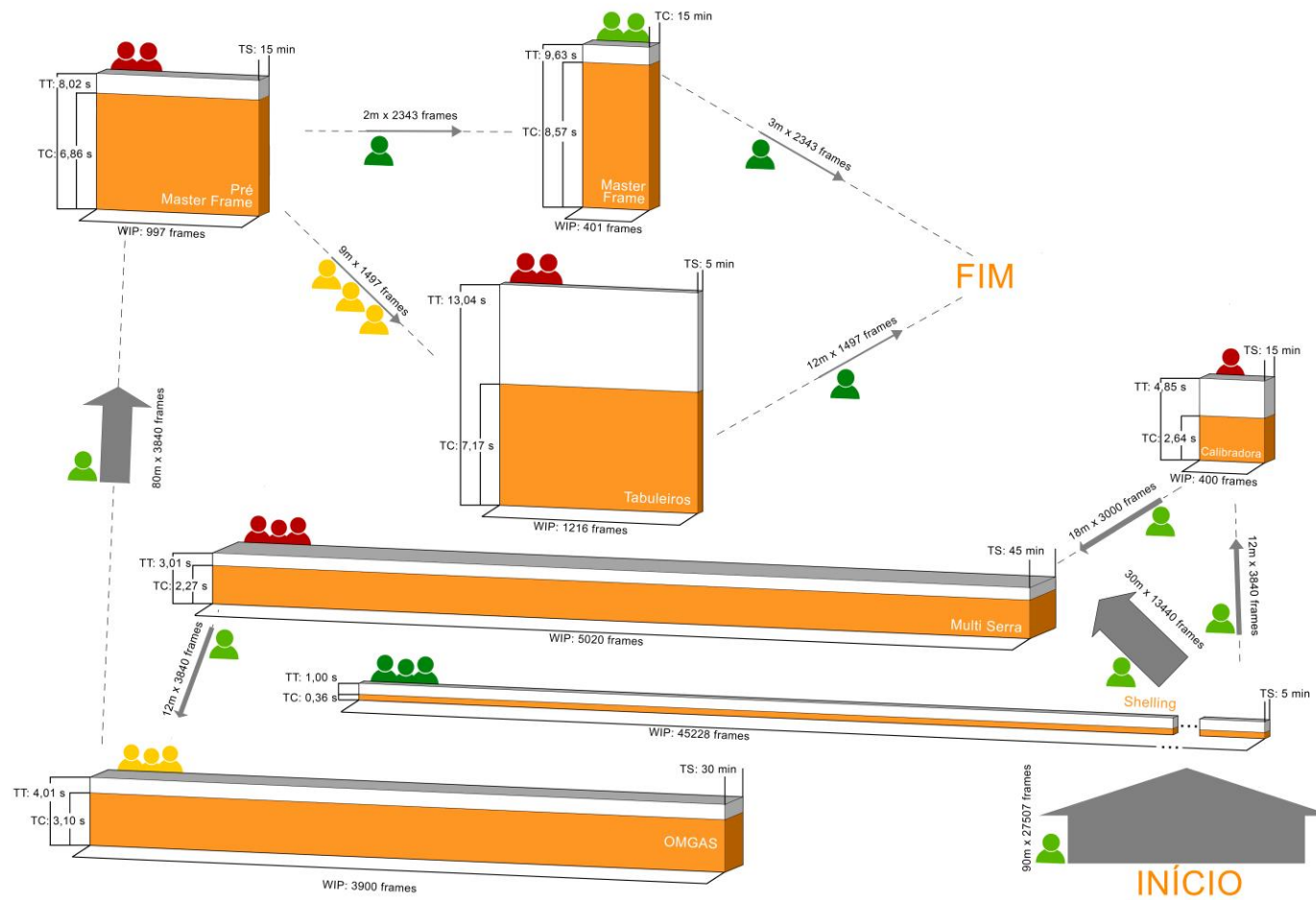


Figura 48 - WIDEA

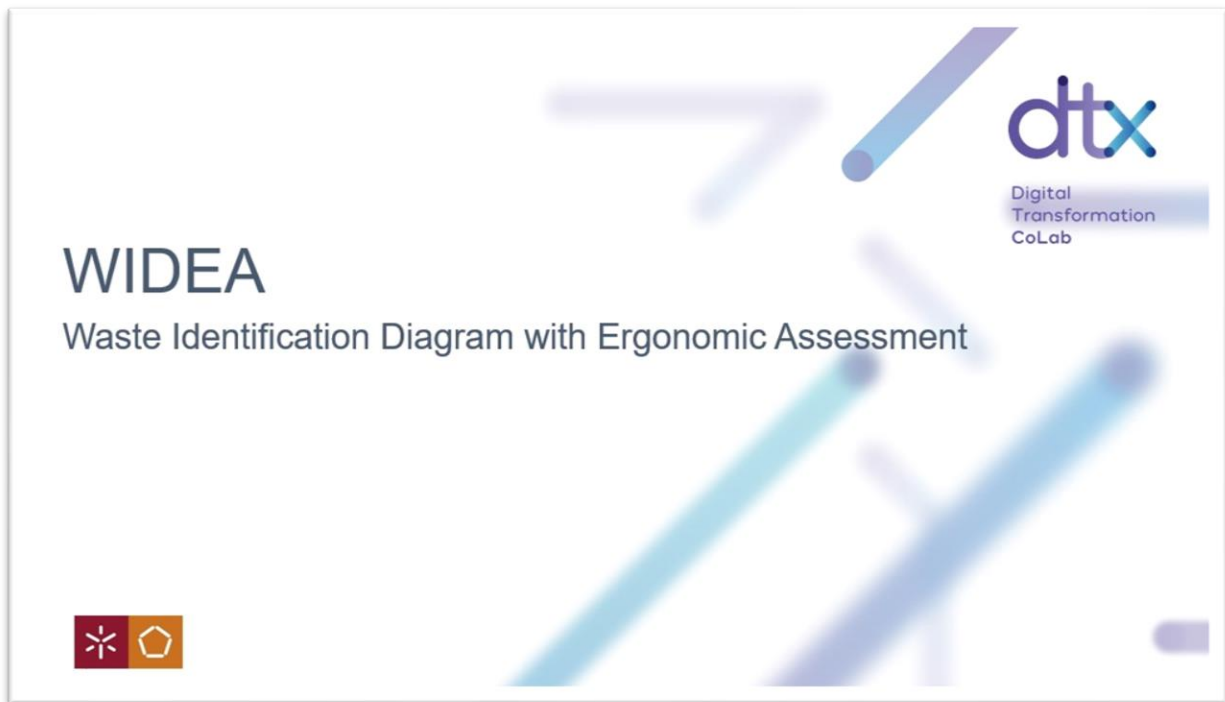


Figura 49 - Slide 1 da apresentação da sessão de foco.

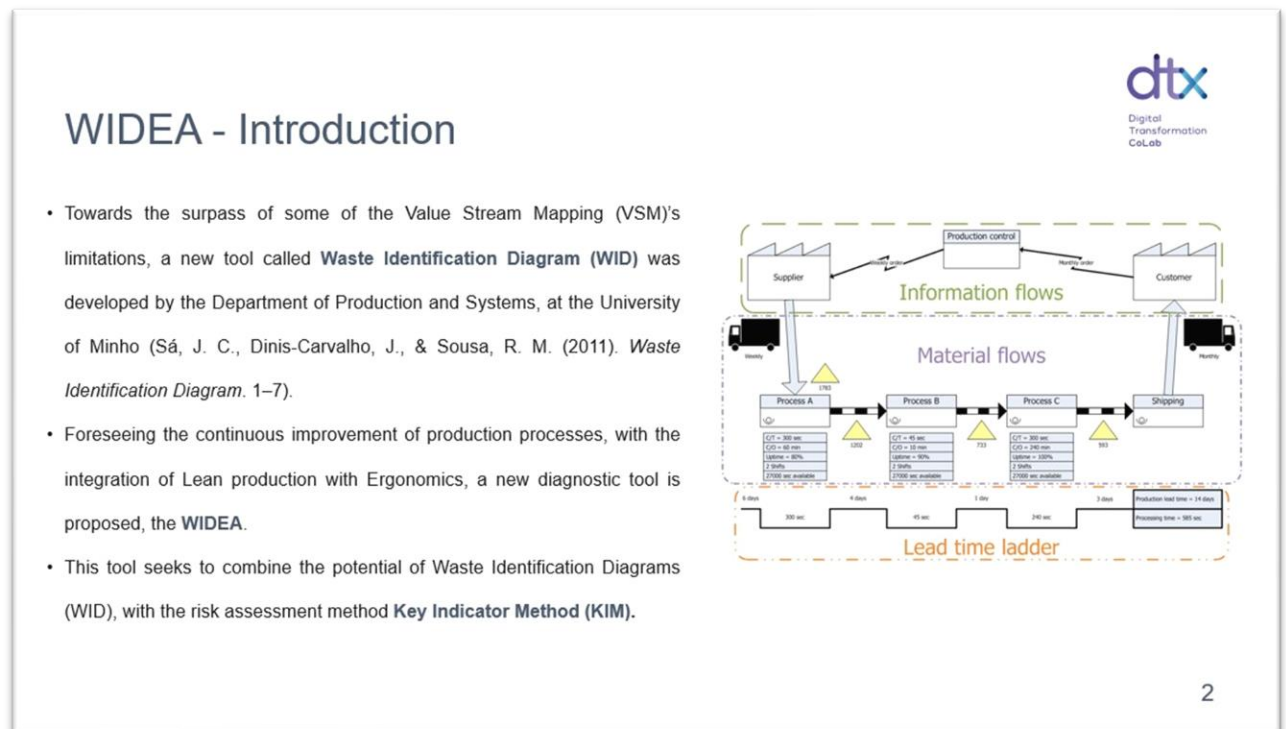


Figura 50 - Slide 2 da apresentação da sessão de foco.

WIDEA - How it is Built?

- This tool is composed by **blocks** and **arrows**;
- Blocks represent workstations, machines or sections of the shop floor. Arrows represent the transportation effort;
- The frontal area of the block represents the **throughput time** of that station.
- Besides this, inside the block (or next to it when the scale requires so) the **number of workers** assigned to the station is represented.

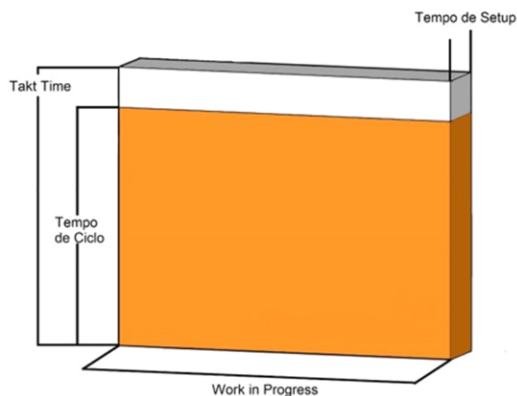


Figura 51 - Slide 3 da apresentação da sessão de foco.

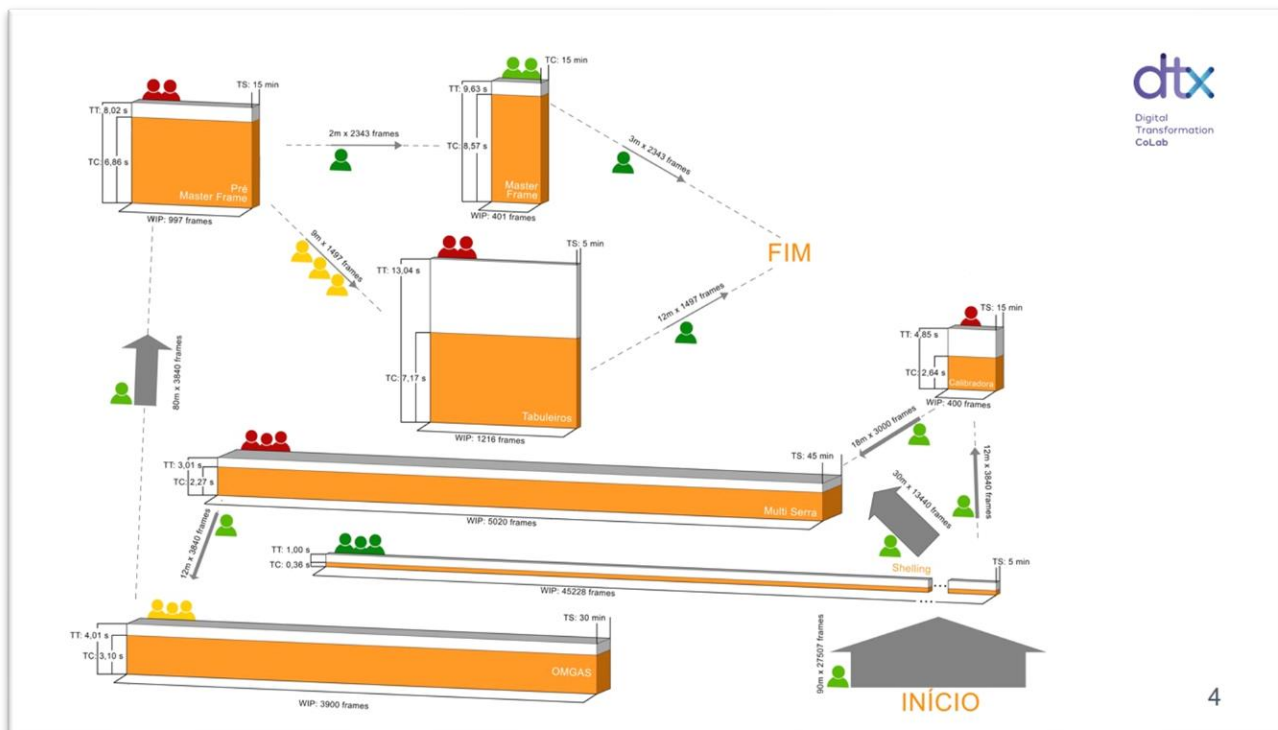
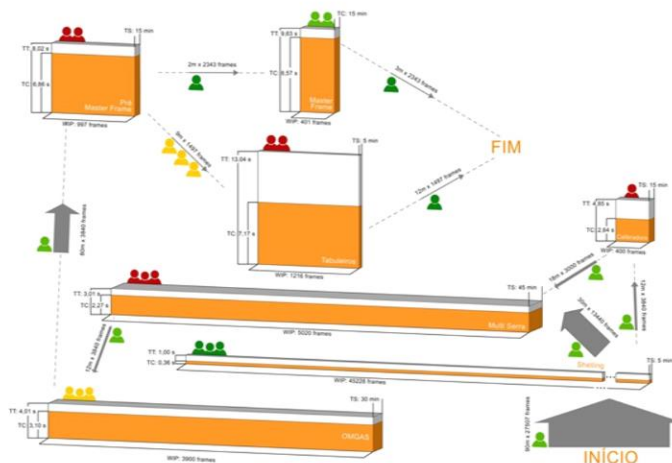


Figura 52 - Slide 4 da apresentação da sessão de foco.

WIDEA - How Easy is it to Read?

- Higher level of WIP?
- Lower level of WIP?
- Biggest transportation effort?
- Higher throughput time?
- Biggest setup time?
- Higher idle time?
- More occupation?
- Higher risk of physical overload?
- Lower risk of physical overload?



5

Figura 53 - Slide 5 da apresentação da sessão de foco.

WIDEA – Comments and Suggestions

1. Should there be another indicator represented?
2. Is the information represented useful?
3. Is it easy to read?
4. Any suggestions on the design?
5. Is there any way to improve the tool?
6. Is there anything you don't like or find confusing about the representation?
7. Do you know another similar tool that serves the same purpose?

6

Figura 54 - Slide 6 da apresentação da sessão de foco.



Figura 55 - *Slide 7* da apresentação da sessão de foco.

APÊNDICE 15– QUESTIONÁRIO APLICADO AOS COLABORADORES



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 Musculoesqueléticas Relacionadas com o Trabalho (LMERT)	
Sim	Qual/Quais:
Não	

Género	
Masculino	
Feminino	
Outro	

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

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

Figura 56 - Primeira página do questionário.

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 musculoesqueléticas relacionadas com o trabalho.						
Sinto-me mais seguro se o robô estiver rodeado por uma vedação.						

Figura 57 - Segunda página do questionário.

APÊNDICE 16– APRESENTAÇÃO UTILIZADA NA SESSÃO DE ESCLARECIMENTO

Sessão de Esclarecimento

Análise dos Resultados do Questionário



2

Figura 59 - *Slide* número 2 com as principais conclusões da análise dos resultados do questionário.

Sessão de Esclarecimento

Robótica Industrial VS Robótica Colaborativa



- **Robô industrial:** é um manipulador multi-propósito controlado automaticamente, reprogramável, programável em três ou mais eixos* - ISO (Organização Internacional da Normalização)



- **Robô Colaborativo:** capaz de partilhar o seu espaço de trabalho com os colaboradores humanos.



Colim, A., Morgado, R., Carneiro, P., Costa, N., Faria, C., Sousa, N., Rocha, L. A., & Arezes, P. (2021). Lean manufacturing and ergonomics integration: Defining productivity and wellbeing indicators in a human-robot workstation. *Sustainability (Switzerland)*, 13(4), 1–21. <https://doi.org/10.3390/su13041931>

3

Figura 60 - *Slide* número 3 com a apresentação dos conceitos de robô industrial e robô colaborativo.

Robótica Colaborativa VS Robótica Industrial

Características	Robótica Colaborativa	Robótica Industrial
Segurança	Mecanismos de segurança que asseguram a colaboração num ambiente de trabalho partilhado	Estruturas de separação do robô dos operadores
Proximidade com o operador	Permitida, quando os procedimentos de segurança são respeitados	Proibida
Programação	Intuitiva – Ensinar Manualmente	Tradicional
Utilização do espaço de trabalho	Reduzida	Elevada – Vedações à distância de segurança obrigatória
Produtividade	Limitada – Baixa velocidade para garantir segurança	Elevada
Controlos	Autónomo ou Controlo Manual	Autónomo - Pré-programados
Volume de Produto	Usada para produtos com baixo volume e alta variabilidade	Usada para produtos com grande volume
Complexidade	Programas flexíveis que contam com utilizador para lidar com mudanças e incertezas	Programas fixos para tarefas específicas
Movimentos	Simultâneos aos do operador	Alternados com os operador

Bi, Z. M., Luo, M., Miao, Z., Zhang, B., Zhang, W. J., & Wang, L. (2021). Safety assurance mechanisms of collaborative robotic systems in manufacturing. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 67(April 2020). <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2020.102022>

Figura 61 - Slide número 4 com a tabela com as principais diferenças entre robótica industrial e a robótica colaborativa.

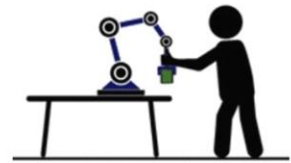
Mecanismos de Segurança – Robótica Colaborativa

SRMS (Safety-Rated Monitored Stop) – Paragem Monitorizada com Classificação de Segurança

Figura 62 - Slide número 5 com conteúdo relativo ao mecanismo de segurança SRMS.

Mecanismos de Segurança – Robótica Colaborativa

HG (*Hand Guiding*) – Guia de Mão



6

Figura 63 - Slide número 6 com conteúdo relativo ao mecanismo de segurança *HG*.

Mecanismos de Segurança – Robótica Colaborativa

SSM (*Speed and Separation Monitoring*) – Monitorização de Velocidade e Distância

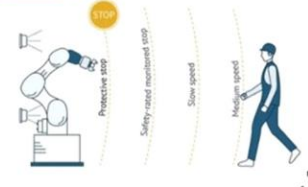


Figura 64 - Slide número 7 com conteúdo relativo ao mecanismo de segurança *SSM*.

Sessão de Esclarecimento

Mecanismos de Segurança – Robótica Colaborativa

PFL (*Power and Force Limiting*) – Limitação de Potência e Força

dtx
Digital Transformation CoLab

8

Figura 65 - Slide número 8 com conteúdo relativo ao mecanismo de segurança PFL.

Sessão de Esclarecimento

Deteção de Defeitos – Robótica Colaborativa

dtx
Digital Transformation CoLab

9

Figura 66 - Slide número 9 com conteúdo relativo à deteção de defeitos por parte do robô colaborativo.

ANEXO 1 – FICHA DE AVALIAÇÃO RULA

RULA Employee Assessment Worksheet

Task Name:

Date:

A. Arm and Wrist Analysis

Step 1: Locate Upper Arm Position:



Step 1a: Adjust...
If shoulder is raised: +1
If upper arm is abducted: +1
If arm is supported or person is leaning: -1

Upper Arm Score

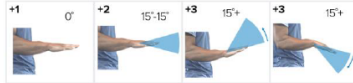
Step 2: Locate Lower Arm Position:



Step 2a: Adjust...
If either arm is working across midline or out to side of body: Add +1

Lower Arm Score

Step 3: Locate Wrist Position:



Step 3a: Adjust...
If wrist is bent from midline: Add +1

Wrist Twist Score

Step 4: Wrist Twist:

If wrist is twisted in mid-range: +1
If wrist is at or near end of range: +2

Wrist Score

Step 5: Look-up Posture Score in Table A:

Using values from steps 1-4 above, locate score in Table A

Posture Score A

Step 6: Add Muscle Use Score

If posture mainly static (i.e. held >1 minute),
Or if action repeated occurs 4X per minute: +1

Muscle Use Score

Step 7: Add Force/Load Score

If load < 4.4 lbs. (intermittent): +0
If load 4.4 to 22 lbs. (intermittent): +1
If load 4.4 to 22 lbs. (static or repeated): +2
If more than 22 lbs. or repeated or shocks: +3

Force / Load Score

Step 8: Find Row in Table C

Add values from steps 5-7 to obtain
Wrist and Arm Score. Find row in Table C.

Wrist & Arm Score

Scores

Table A		Wrist Score				
Upper Arm	Lower Arm	1	2	3	4	
		Wrist Twist	Wrist Twist	Wrist Twist	Wrist Twist	
1	1	1	2	2	3	3
	2	2	2	2	3	3
	3	2	3	3	3	4
2	1	2	3	3	3	4
	2	3	3	3	3	4
	3	3	4	4	4	5
3	1	3	3	4	4	5
	2	3	4	4	4	5
	3	4	4	4	4	5
4	1	4	4	4	4	5
	2	4	4	4	4	5
	3	4	4	4	5	6
5	1	5	5	5	5	6
	2	5	6	6	6	7
	3	6	6	6	7	7
6	1	7	7	7	7	8
	2	8	8	8	8	9
	3	9	9	9	9	9

Table C		Neck, Trunk, Leg Score						
Wrist / Arm Score	Neck, Trunk, Leg Score	1	2	3	4	5	6	7+
		1	1	2	3	3	4	5
2	2	2	3	4	4	5	5	
3	3	3	3	4	4	5	6	
4	4	3	3	4	5	6	6	
5	4	4	4	5	6	7	7	
6	4	4	5	6	6	7	7	
7	5	5	6	6	7	7	7	
8+	5	5	6	7	7	7	7	

Scoring (final score from Table C)
1-2 = acceptable posture
3-4 = further investigation, change may be needed
5-6 = further investigation, change soon
7 = investigate and implement change

RULA Score

B. Neck, Trunk and Leg Analysis

Step 9: Locate Neck Position:



Step 9a: Adjust...
If neck is twisted: +1
If neck is side bending: +1

Neck Score

Step 10: Locate Trunk Position:



Step 10a: Adjust...
If trunk is twisted: +1
If trunk is side bending: +1

Trunk Score

Step 11: Legs:

If legs and feet are supported: +1
If not: +2

Leg Score

Neck Posture Score	Table B: Trunk Posture Score											
	1		2		3		4		5		6	
Score	Legs	Legs	Legs	Legs	Legs	Legs	Legs	Legs	Legs	Legs	Legs	
1	1	3	2	3	3	4	5	5	6	6	7	7
2	2	3	2	3	4	5	5	5	6	6	7	7
3	3	3	3	4	4	5	5	6	6	7	7	7
4	4	5	5	5	6	6	7	7	7	8	8	8
5	7	7	7	7	8	8	8	8	8	8	8	8
6	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	9	9

Step 12: Look-up Posture Score in Table B:

Using values from steps 9-11 above,
locate score in Table B

Posture B Score

Step 13: Add Muscle Use Score

If posture mainly static (i.e. held >1 minute),
Or if action repeated occurs 4X per minute: +1

Muscle Use Score

Step 14: Add Force/Load Score

If load < 4.4 lbs. (intermittent): +0
If load 4.4 to 22 lbs. (intermittent): +1
If load 4.4 to 22 lbs. (static or repeated): +2
If more than 22 lbs. or repeated or shocks: +3

Force / Load Score

Step 15: Find Column in Table C

Add values from steps 12-14 to obtain
Neck, Trunk and Leg Score. Find Column in Table C.

Neck, Trunk, Leg Score

based on RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders, McAtamney & Corlett, Applied Ergonomics 1993, 24(2), 91-99

Figura 67 - Ficha de Avaliação RULA.

(Middlesworth, 2020)

ANEXO 2 – AJUSTAMENTOS DE DIFICULDADE

Cat.	Descrição	Código	Condições	Ajust. (%)	Exemplos
1	Partes do corpo utilizadas	A	Apenas uso dos dedos	0	
		B	Pulso e dedos (mão)	1	
		C	Cotovelo, antebraço e mão	2	
		D	Todo o membro superior	5	
		E	Tronco e membro superior	8	
		E2	Levantar baixo c/ ajuda pernas	10	
2	Utilização de pedais	F	Sem pedais, ou apenas um pedal com o fulcro sob o pé	0	
		G	Um ou dois pedais com o fulcro fora do pé	5	
3	Trabalho com ambas as mãos (*)	H	As duas mãos ajudam-se ou alternam	0	Ambas as peças são "idênticas" no que respeita ao trabalho a executar
		H2	As mãos trabalham simultaneamente fazendo o mesmo trabalho em peças idênticas	18	
4	Coordenação olhos-mãos (*)	I	Trabalho grosseiro	0	Casualmente
		J	Visão moderada	2	Apenas visão periférica casualmente
		K	Constante, mas não próxima	4	Visão periférica constante
		L	Cuidadosa, bastante próxima	7	Visão próxima
		M	Exigência de grande acuidade visual	10	Bordar à mão
5	Requisitos de manipulação (*)	N	Manipulação grosseira	0	Não precisa controlar a força muscular conscientemente
		O	Apenas controlo grosseiro	1	Pode inclinar ou pousar os objectos sem cuidado
		P	Deve ser controlado, mas pode ser inclinado	2	Não deve bater com os objectos Os objectos podem danificar-se facilmente
		Q	Manipulação com cuidado	3	Os objectos podem danificar-se facilmente pela pressão normal dos dedos
		R	Grande fragilidade	5	
6	Peso / força	Identificar pelo peso da peça, resistência a vencer ou força que é necessário exercer		Usar o quadro 5.4	

Figura 68 - Ajustamentos de dificuldade para avaliação objetiva do desempenho.
(Costa e Arezes, 2003)

Força (Kg)	Valor de base (5%) *	Incrementos a adicionar ao valor básico em função da percentagem que exceder 5% do ciclo														Total máx. possível	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	20	30	40	45		
0,5	1																1
1	2																2
1,5	3																3
2	3																3
2,5	4																4
3	5																5
3,5	7																7
4	8																8
4,5	9																9
5	11																11
5,5	12																12
6	13																13
6,5	14																14
7	15																15
7,5	16																16
8	17																17
8,5	18																18
9	19																19
9,5	20																20
10	21	0,0	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	1,0	1,3	1,7	2		23
10,5	22	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	1,0	1,3	1,7	2		24
11	23	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,5	0,6	0,7	1,3	2,0	2,8	3		26
11,5	24	0,1	0,2	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,8	2,7	3,6	4		28
12	25	0,1	0,3	0,3	0,4	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	2,2	3,3	4,4	5		30
12,5	26	0,2	0,3	0,4	0,5	0,7	0,8	0,9	1,1	1,2	1,3	2,7	4,0	5,3	6		32
13	27	0,2	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	1,1	1,2	1,4	1,6	3,1	4,7	6,2	7		34
13,5	28	0,2	0,4	0,5	0,7	0,9	1,1	1,2	1,4	1,6	1,8	3,6	5,3	7,1	8		36
14	29	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	4,0	6,0	8,0	9		38
14,5	30	0,2	0,5	0,7	0,9	1,1	1,3	1,6	1,8	2,0	2,2	4,4	6,7	8,9	10		40
15	31	0,3	0,6	0,7	1,0	1,2	1,5	1,7	2,0	2,2	2,4	4,9	7,3	9,7	11		42
15,5	31	0,3	0,7	0,9	1,2	1,5	1,9	2,2	2,5	2,7	3,1	6,2	9,3	12,4	14		45
16	32	0,4	0,7	1,0	1,3	1,7	2,0	2,3	2,7	3,0	3,2	6,7	10	13,3	15		47
16,5	33	0,4	0,8	1,1	1,4	1,8	2,1	2,5	2,8	3,2	3,6	7,1	10,6	14,2	16		49
17	34	0,4	0,9	1,2	1,6	2,0	2,4	2,8	3,2	3,6	4,0	8,0	12,0	16,0	18		52
17,5	34	0,5	1,0	1,3	1,8	2,2	2,7	3,1	3,6	4,0	4,4	8,9	13,3	17,8	20		54
18	35	0,5	1,1	1,5	2,0	2,4	2,9	3,4	3,9	4,4	4,9	9,7	14,7	20,0	22		57
18,5	36	0,6	1,2	1,6	2,1	2,7	3,2	3,7	4,3	4,8	5,3	10,7	16,0	21,4	24		60
19	36	0,6	1,2	1,7	2,3	2,9	3,5	4,0	4,6	5,2	5,8	11,6	17,3	23,1	26		62
19,5	37	0,6	1,2	1,9	2,5	3,1	3,7	4,4	5,0	5,6	6,2	12,4	18,7	24,9	28		65

Figura 69 - Ajustamento de dificuldade em função da duração da força exercida expressa em percentagem da duração do ciclo. (Costa e Arezes, 2003)

ANEXO 3– TABELA DE CÁLCULO DE CORREÇÕES VARIÁVEIS

A. ESFORÇO FÍSICO RESULTANTE DA NATUREZA DO TRABALHO

A1 – Força Desenvolvida Média	
•	Toma-se em consideração a integridade do elemento de trabalho ou do intervalo de tempo para o qual é necessário fixar um complemento de repouso e determina-se a força desenvolvida média.
•	O número de pontos atribuídos à força desenvolvida média varia conforme o tipo de esforço produzido pela operação. Esse esforço pode ser enquadrado numa das seguintes categorias:
	<u>Esforço Médio:</u> Para actividades do tipo (1) transportar ou suportar fardos, (2) padejar, martelar e realizar outros movimentos rítmicos. Esta categoria engloba a maior parte das operações.
	<u>Esforço Fraco:</u> Para actividades que implicam essencialmente esforços tais como: (1) transferir o peso do corpo para exercer uma força, tal como acontece quando se acciona um pedal, exerce todo o peso do corpo sobre um objecto contra um tampão, (2) suportar ou transportar cargas bem equilibradas fixadas ao corpo por meio de uma correia ou suspensas das espáduas, permanecendo os braços e mãos livres.
	<u>Esforço Elevado:</u> Para actividades que implicam essencialmente esforços que consistem em: (1) levantar fardos, (2) exercer uma força utilizando continuamente músculos dos dedos ou braços, (3) levantar ou suportar cargas em posições incómodas ou manipular pesos importantes em posições desconfortáveis, (4) efectuar operações a temperaturas elevadas: trabalhar metais a quente, etc.

ESFORÇO MÉDIO - pontos atribuídos à força desenvolvida média										
Kg	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5
0	0	0	0	0	3	6	8	10	12	14
5	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
10	25	26	27	28	29	30	31	32	32	33
15	34	35	36	37	38	39	39	40	41	41
20	42	43	44	45	46	46	47	48	49	50
25	50	51	51	52	53	54	54	55	56	56
30	57	58	59	59	60	61	61	62	63	64
35	64	65	65	66	67	68	69	70	70	71
40	72	72	72	73	73	74	74	75	76	76
45	77	78	79	79	80	80	81	82	82	83
50	84	85	86	86	87	88	88	88	89	90
55	91	92	93	94	95	95	96	96	97	97
60	97	98	98	98	99	99	99	100	100	100
65	101	101	102	102	103	104	105	106	107	108
70	109	109	109	110	110	111	112	112	112	113

Figura 70- Tabela para o cálculo de correções variáveis - página 1.
(Costa e Arezes, 2003)

ESFORÇO FRACO - pontos atribuídos à força desenvolvida média										
Kg	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
0	0	0	0	0	3	6	7	8	9	10
5	11	12	13	14	14	15	16	16	17	18
10	19	19	20	21	22	22	23	23	24	25
15	26	26	27	27	28	28	29	30	31	31
20	32	32	33	34	34	35	35	36	36	37
25	38	38	39	39	40	41	41	42	42	43
30	43	43	44	44	45	46	46	47	47	48
35	48	49	50	50	50	51	51	52	52	53
40	54	54	54	55	55	56	56	57	58	58
45	58	59	59	60	60	60	61	62	62	63
50	63	63	64	65	65	66	66	66	67	67
55	68	68	68	69	69	70	71	71	71	72
60	72	73	73	73	74	74	75	75	76	76
65	77	77	77	78	78	78	79	80	80	81
70	81	82	82	82	83	83	84	84	84	85

ESFORÇO ELEVADO - pontos atribuídos à força desenvolvida média										
Kg	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
0	0	0	0	3	8	11	13	15	17	18
5	20	21	22	24	25	29	28	29	30	32
10	33	34	35	37	38	39	40	41	43	44
15	45	46	47	48	49	50	51	52	54	55
20	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65
25	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75
30	76	76	77	78	79	80	81	82	83	84
35	85	86	87	88	88	89	90	91	92	93
40	94	94	95	96	97	98	99	100	101	101
45	102	103	104	105	105	106	107	108	109	110
50	110	111	112	113	114	115	115	116	117	118
55	119	119	120	121	122	123	124	124	125	126
60	127	128	128	129	130	130	131	132	133	134
65	135	136	136	137	137	138	139	140	141	142
70	142	143	143	144	145	146	147	148	148	149

A2 – Posição de Trabalho	
• Critérios de atribuição dos pontos: o trabalhador está sentado, de pé, debruçado ou dobrado sobre si próprio? Ele pode manipular a carga facilmente ou de maneira incómoda?	
Comodamente sentado.	0
Sentado de forma incómoda ou meio sentado/meio de pé.	2
De pé ou andando sem entraves.	4
Sobe ou desce uma escada sem transportar carga.	5
De pé ou andando com uma carga.	6
Sobe/desce escada, debruça-se/levanta-se/esticar-se para alcançar/lançar objectos periodicamente.	8
Levanta de forma incómoda, padeja cascalho num cesto.	10
Debruça-se, levanta, estica-se ou lança constantemente.	12
Extraí carvão com uma picareta, deitado num veio estreito.	16

Figura 71 -Tabela para o cálculo de correções variáveis - página 2.
(Costa e Arezes, 2003)

A3 – Vibrações	
<ul style="list-style-type: none"> • Critérios de atribuição dos pontos: impacto das vibrações ou de uma série de choques ou sacudidelas no corpo, nos membros ou nas mãos, esforço mental suplementar provocado pelas vibrações. 	
Padejar matérias leves.	1
Máquina de costura eléctrica. /	2
Prensa hidráulica ou tesoura, se o operador segura a matéria a cortar ou embutir.	2
Cortar em bocados. / Padejar cascalho. / Berbequim eléctrico portátil accionado por uma mão.	4
Cavar.	6
Berbequim eléctrico (accionado por ambas as mãos).	8
Desfazer um piso de betão com martelo pneumático.	15

A4 – Ciclo Curto			
<ul style="list-style-type: none"> • Para trabalhos muito repetitivos, se uma série de elementos muito curtos forma um ciclo que se repete continuamente durante um período relativamente longo. Os pontos são atribuídos de acordo com a seguinte tabela, para compensar a falta de possibilidade de variar o leque de músculos utilizados. 			
<ul style="list-style-type: none"> • Tempo médio do ciclo (em centimínutos) 		<ul style="list-style-type: none"> • Tempo médio do ciclo (em centimínutos) 	
16 - 17	1	8 - 9	6
15	2	7	7
13 - 14	3	6	8
12	4	5	9
10 - 11	5	Menos que 5	10

A5 – Vestuário de Trabalho Incómodo	
<ul style="list-style-type: none"> • Critérios de atribuição dos pontos: influência do peso do vestuário de protecção sobre o esforço e o movimento, redução eventual da ventilação e da capacidade respiratória do trabalhador. 	
Luvas de Borracha finas - luvas cirúrgicas	1
Luvas de Borracha para trabalhos caseiros / Botas de Borracha	2
Óculos de Rectificador.	3
Luvas industriais de borracha ou de couro.	5
Máscara facial (por exemplo, para pintura à pistola).	8
Vestuário de protecção em amianto ou capa de tela encerada.	15
Combinação de protecção que entrava os movimentos e o aparelho respiratório	20

Figura 72 - Tabela para o cálculo de correções variáveis - página 3.
(Costa e Arezes, 2003)

B. TENSÃO MENTAL

B1 – Concentração/Ansiedade	
<ul style="list-style-type: none"> • Critérios de atribuição dos pontos: o que sucederá se o operador relaxar a atenção, responsabilidade confiada ao executante, necessidade de respeitar as exigências de tempo para cada movimento, precisão ou exactidão requerida. 	
Trabalhos simples e usuais de montagem / Padejar cascalho	0
Trabalhos usuais de embalagem / Lavador de veículos	1
Conduzir um pequeno carro ao longo de corredores desimpedidos.	
Alimentar uma prensa conservando a mão afastada da prensa.	2
Re-nivelar uma bateria de acumuladores.	
Pintar paredes.	3
Reunir objectos para formar lotes simples e de pequena importância, sem reflectir muito.	4
Coser com uma máquina de orientação automática.	
Recolher materiais pedidos ao armazém com um pequeno carro. / Controlo simples.	5
Carregar e descarregar uma prensa à mão. / Pintura de materiais à pistola.	6
Adicionar algarismos. / Controlar pequenas peças soltas.	7
Gravar e polir.	8
Guiar à mão uma peça numa máquina de costura.	10
Embalar e escolher um sortido de chocolates segundo uma disposição que o executante deve memorizar e os chocolates em função dessa orientação. Trabalho de montagem demasiado complexo para permitir ao executante a aquisição de automatismos.	
Soldar peças sustidas por uma montagem.	15
Conduzir um autocarro num nevoeiro espesso ou quando a circulação é intensa.	
Marcação minuciosa ou muito precisa.	

B2 – Monotonia	
<ul style="list-style-type: none"> • Critérios de atribuição dos pontos: grau de estímulo mental, existência eventual de laços de camaradagem, de espírito de competição, de um fundo musical, etc. 	
Dois trabalhadores trabalhando por empreitada.	0
Limpar sapatos durante meia hora.	3
Operador executando trabalho repetitivo. / Operador executando sozinho um trabalho não repetitivo.	5
Controlo de rotina.	6
Adicionar colunas de algarismos parecidos.	8
Operador executando sozinho um trabalho altamente repetitivo.	11

B3 – Esforços Visuais	
<ul style="list-style-type: none"> • Critérios de atribuição dos pontos: condições de iluminação, encandeamto, luzes intermitentes, nível de iluminação, cor e proximidade da peça a maquinar, duração do esforço exercido. 	
Trabalho industrial normal.	0
Controlo/detecção de defeitos facilmente discerníveis. Trabalho industrial em más condições de iluminação.	2
Classificar por cores objectos de cores diferentes.	
Controlo a intervalos diversos: detecção de pequenos defeitos. / Escolha de maçãs.	4
Ler jornal num veículo em movimento.	8
Soldar a arco com utilização de máscara. Controlo visual contínuo (tecido saindo de um tear).	10
Gravar utilizando uma lupa.	14

Figura 73 - Tabela para o cálculo de correções variáveis - página 4.
(Costa e Arezes, 2003)

B4 – Ruído	
• Critérios de atribuição dos pontos: o ruído afecta a concentração? Se se trata de um ruído de fundo, produz-se regularmente ou de forma imprevisível? É irritante, ou, pelo contrário, calmante?	
Trabalho num gabinete calmo, sem que disperse a atenção. Fábrica montagem de elementos leves	0
Trabalho num gabinete na cidade, tendo o ruído contínuo da circulação exterior como ruído de fundo.	1
Oficina de mecânica ligeira.	
Gabinete ou oficina de montagem na qual o ruído constitui uma fonte de distração.	2
Oficina de carpintaria industrial.	4
Accionar um martelo pilão com uma forja.	5
Rebitar num estaleiro de construção naval.	9
Desfazer o solo com um martelo pneumático.	10

Figura 74 - Tabela para o cálculo de correções variáveis - página 5.
(Costa e Arezes, 2003)

C. ESFORÇO FÍSICO OU TENSÃO MENTAL RESULTANTE DA NATUREZA DAS CONDIÇÕES DE TRABALHO

C1 – Temperatura e Grau Higrométrico				
<ul style="list-style-type: none"> • Critérios de atribuição dos pontos: condições atmosféricas gerais de temperatura e humidade, que se classificam numa das categorias do seguinte quadro. Escolher de acordo com a temperatura média. 				
Grau Higrométrico (%)	Temperatura			
	até 14°C	14,1 - 25 °C	25,1 - 32 °C	Acima de 32,1 °C
Até 75 %	0	1 - 5	6 - 9	10 - 16
de 76% até 85%	1 - 3	4 - 7	8 - 12	13 - 23
Acima de 86%	4 - 6	7 - 11	12 - 17	18 - 36

C2 – Ventilação	
<ul style="list-style-type: none"> • Critérios de atribuição dos pontos: qualidade e frescura do ar, circulação do ar por climatização ou por ventilação natural 	
Escritórios.	0
Fábricas com condições de trabalho análogas às dos escritórios.	0
Oficinas em que a ventilação é conveniente, mas com algumas correntes de ar.	1
Oficinas expostas a fortes correntes de ar.	3
Trabalhar em esgotos.	14

C3 – Fumos e Vapores	
<ul style="list-style-type: none"> • Critérios de atribuição dos pontos: natureza e concentração dos fumos e vapores: são tóxicos e nocivos para a saúde? são irritantes para os olhos, o nariz, a garganta, a pele? Têm um cheiro desagradável? 	
Trabalho no torno com líquidos refrigerantes.	0
Pintura emulsionada / Cortar com maçarico / Colagem com resinas.	1
Gás de escape de um motor de veículo a funcionar numa pequena oficina de reparações.	5
Aplicação de tinta celulósica.	6
Fundidor enchendo um molde de metal em fusão.	10

C4 – Poeira	
<ul style="list-style-type: none"> • Critérios de atribuição dos pontos: o volume e natureza da poeira. 	
Escritório / Operações de montagem de elementos leves / Oficina de prensas.	0
Operações de rebolo ou de polir com uma boa aspiração de poeiras.	1
Serrar madeira.	2
Despejar cinzas.	4
Alisar soldaduras com abrasivo.	6
Despejar carvão em vagões ou cestos.	10
Descarregar cimento.	11
Demolir um imóvel.	12

Figura 75 - Tabela para o cálculo de correções variáveis - página 5.
(Costa e Arezes, 2003)

C5 – Sujidade	
<ul style="list-style-type: none"> • Critérios de atribuição dos pontos: natureza do trabalho e desagregações provocadas pela sua natureza sujadora. Este complemento cobre o “tempo de lavagem” quando ele é pago (ou seja quando se lhe atribui aos executantes 3 ou 5 minutos para se lavar). Não atribuir simultaneamente tempo e pontos. 	
Trabalho de escritório. / Operações normais de montagem. / Trabalho de duplicador.	0
Varrer.	1
Desmontar um motor de combustão interna.	4
Trabalho realizado numa viatura velha.	5
Descarregar sacos de cimento.	7
Trabalho de mineiro. / Limpar uma chaminé com vassoura.	10

C6 – Humidade	
<ul style="list-style-type: none"> • Critérios de atribuição dos pontos: efeito cumulativo da exposição a este factor durante longo período. 	
Operações industriais normais. / Trabalho no exterior, por exemplo de carteiro.	1
Trabalho permanente em meio húmido.	2
Limpar com água superfícies murais.	4
Manipulação contínua de objectos molhados.	5
Lavandaria / tinturaria, trabalho a vapor, na humidade, num solo coberto com água, com as mãos molhadas.	10

TABELA DE CONVERSÃO DOS PONTOS

Percentagem de correcção de repouso
correspondente ao total de pontos atribuídos

Pontos	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	10	10	10	10	10	10	10	11	11	11
10	11	11	11	11	11	12	12	12	12	12
20	13	13	13	13	14	14	14	14	15	15
30	15	16	16	16	17	17	17	18	18	18
40	19	19	20	20	21	21	22	22	23	23
50	24	24	25	26	26	27	27	28	28	29
60	30	30	31	32	32	33	34	34	35	36
70	37	37	38	39	40	40	41	42	43	44
80	45	46	47	48	48	49	50	51	52	53
90	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63
100	64	65	66	68	69	70	71	72	73	74
110	75	77	78	79	80	82	83	84	85	87
120	88	89	91	92	93	95	96	97	99	100
130	101	103	105	106	107	109	110	112	113	115
140	116	118	119	121	122	123	125	126	128	130

Exemplo: Se o total de pontos atribuídos aos diversos esforços soma 37 pontos:

- na coluna situada na extremidade esquerda da tabela, referenciar a linha do número 30;
- percorrer esta linha da esquerda para a direita e parar na coluna 7;
- ler a correcção de repouso correspondente a 37 pontos, ou seja, 18%.

Figura 76 - Tabela para o cálculo de correcções variáveis - página 6.
(Costa e Arezes, 2003)

ANEXO 4– FICHA DE AVALIAÇÃO KIM – MANUAL HANDLING OPERATIONS (MHO)




Key Indicator Method for assessing and designing physical workloads during Manual Handling Operations KIM-MHO
<p>Overview of Key Indicator Methods:</p> <p>Key Indicator Method for assessing and designing physical workloads ...</p> <ul style="list-style-type: none">• with respect to manual Lifting, Holding and Carrying of loads (KIM-LHC)• with respect to manual Pushing and Pulling of loads (KIM-PP)• during Manual Handling Operations (KIM-MHO)• with respect to Whole-Body Forces (KIM-BF)• with respect to Awkward Body Postures (KIM-ABP)• with respect to Body Movement (KIM-BM) <p>as well as the respective Extended versions in a spreadsheet program (e.g. KIM-MHO-E)</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"></div> <p style="text-align: center;"><small>Photo: U. Völkner/fox-fotos.de Photo: U. Völkner/fox-fotos.de Photo: U. Völkner/fox-fotos.de</small></p>
<p>Scope of the Key Indicator Method (KIM-MHO)</p> <ul style="list-style-type: none">• This type of physical workload concerns uniform, repetitive motion and force exerted by the upper extremities using instruments, small tools or hand-guided machines if necessary, usually in a stationary sitting or standing position. The work task is to process (modify) the working object or move (handle) small objects with a weight of up to approx. 3 kg in most cases.• Typical activities: Assembly activities (e.g. assembly of electrical appliances), soldering, sewing, sorting, cutting, cashiering, manually controlling, pipetting, work at a microscope, making music (e.g. playing the piano, violin), joining, turning, shifting, pressing, lifting, holding, relocating, wrapping
<p>Distinction from other Key Indicator Methods</p> <ul style="list-style-type: none">• If the sub-activity includes moving loads ≥ 3 kg, the types of physical workload "Lifting, Holding and Carrying" and/or "Pushing and Pulling" must also be considered.• If the sub-activity includes exerting high forces frequently, e.g. when using tools, fittings and devices, the type of physical workload "Whole-Body Forces" must also be taken into consideration.• If there are several different sub-activities per working day, they must be recorded and assessed separately (e.g. using KIM-MHO-E). The probability of physical overload can only be assessed if all physical workloads occurring during a working day are assessed.
Form including brief instructions
<i>Draft for practical testing – Version 12.5 – As of 04.2019 – © BAuA/ASER/Arb.MedErgo/ebus</i>

Figura 77 - Ficha de avaliação KIM-MHO página 1.


KIM for assessing and designing physical workloads during Manual Handling Operations (KIM-MHO)

Workplace/sub-activity:			
Duration of the working day:		Evaluator:	
Duration of the sub-activity:		Date:	

1st step: Determination of time rating points

Total duration of this sub-activity per working day [up to ... hours]	up to 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Time rating points:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

2nd step: Determination of the rating points for other indicators

Type of force exertion in the finger/hand area within a "standard minute"		Holding ¹⁾			Moving				
		average holding time [sec. per minute]			average movement frequencies [number per minute]				
Level	Description, typical examples	31-60	16-30	≤ 15	< 5	5-15	16-30	31-60	61-90 ²⁾
	Very low / low forces (up to 15% $F_{max,M}$) e.g. button actuation / shifting / ordering / material guidance / insertion of small parts	Rating points			Rating points				
	Moderate forces (up to 30% $F_{max,M}$) e.g. gripping / joining small work pieces by hand or with small tools	5.5	3	1.5	0.5	1	2.5	5	7
	High forces (up to 50% $F_{max,M}$) e.g. turning / winding / packaging / grasping / holding or joining parts / pressing in / cutting / working with small powered hand tools	9	4.5	2.5	0.5	2	4	7.5	11
	Very high forces (up to 80% $F_{max,M}$) e.g. cutting involving major element of force / working with small staple guns / moving or holding parts or tools	14	7	3.5	1	3	6	12	18
	Peak forces³⁾ (more than 80% $F_{max,M}$) e.g. tightening, loosening bolts / separating / pressing in	22	11	5.5	1.5	5	10	19	
	Powerful hitting²⁾ with ball of the thumb, palm of the hand or fist	100		35	8	30		100	
<i>The work cycle must be observed and the rating points for the force categories marked. Added (left and right hands separately), these produce the force rating point. To calculate the total score (step 3), the higher value must be used.</i>		Rating points of force exertion:			Left hand	Right hand			




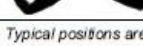
¹⁾ The amount of time of holding work is only considered as such in the assessment if one arm is held continuously statically for at least 4 seconds!

²⁾ Please note: if one of these categories was chosen, it is recommended to evaluate this sub-activity also using the KIM-BF!

³⁾ These forces might not be exerted at all or might no longer be exerted reliably. This applies to women in particular.

⁴⁾ In case of even higher frequencies, the resulting risk score must be extrapolated linearly or the E version (KIM-MHO-E) must be applied.

Force transfer / gripping conditions	Rating
Optimum force transfer/application / working objects are easy to grip (e.g. bar-shaped, gripping grooves) / good ergonomic gripping design (grips, buttons, tools)	0
Restricted force transfer/application / greater holding forces required / no shaped grips	2
Force transfer/application considerably hindered / working objects hardly possible to grip (slippery, soft, sharp edges) / no or only unsuitable grips	4





Hand/arm position and movement ⁴⁾	Rating points
 Good: position or movements of joints in the middle (relaxed) range, only rare deviations / no continuous static arm posture / hand-arm rest possible as required	0
 Restricted: occasional positions or movements of the joints at the limit of the movement ranges / occasional long continuous static arm posture	1
 Unfavourable: frequent positions or movements of the joints at the limit of the movement ranges / frequent long continuous static arm posture	2
 Poor: constant positions or movements of the joints at the limit of the movement ranges / constant long continuous static arm posture	3

⁴⁾ Typical positions are to be considered. Rare deviations can be ignored.

Unfavourable working conditions (specify only where applicable)	Rating points
Good: there are no unfavourable working conditions, i.e. reliable recognition of detail / no dazzle / good climatic conditions	0
Restricted: occasionally impaired detail recognition due to dazzle or excessively small details / difficult conditions such as draught, cold, moisture and/or disturbed concentration due to noise	1
Unfavourable: frequently impaired detail recognition due to dazzle or excessively small details / frequently difficult conditions such as draught, cold, moisture and/or disturbed concentration due to noise	2

Indicators not mentioned in the table are to be taken into account accordingly.

Figura 78 - Ficha de avaliação KIM-MHO página 2.

Body posture/movement ^{5) 6)}	Rating points
 <ul style="list-style-type: none"> - Alternation between sitting and standing, alternation between standing and walking, dynamic sitting possible - Trunk inclined forward only very slightly - No twisting and/or lateral inclination of the trunk identifiable - Head posture: variable, head not inclined backward and/or severely inclined forward or constantly moving - No gripping above shoulder height / no gripping at a distance from the body 	0
 <ul style="list-style-type: none"> - Predominantly sitting or standing with occasional walking - Trunk with slight inclination of the body towards the work area - Occasional twisting and/or lateral inclination of the trunk identifiable - Occasional deviations from good "neutral" head posture/movement - Occasional gripping above shoulder height / occasional gripping at a distance from the body 	2
 <ul style="list-style-type: none"> - Exclusively standing or sitting without walking - Trunk clearly inclined forward and/or frequent twisting and/or lateral inclination of the trunk identifiable - Frequent deviations from good "neutral" head posture/movement - Head posture hunched forward for detail recognition / restricted freedom of movement - Frequent gripping above shoulder height / frequent gripping at a distance from the body 	4
 <ul style="list-style-type: none"> - Trunk severely inclined forward / frequent or long-lasting bending - Work being carried out in a kneeling, squatting, lying position - Constant twisting and/or lateral inclination of the trunk identifiable - Body posture strictly fixed / visual check of action through magnifying glasses or microscopes - Constant deviations from good "neutral" head posture/movement - Constant gripping above shoulder height / constant gripping at a distance from the body 	6 ⁷⁾

⁵⁾ Typical body postures are to be taken into account. Rare deviations can be ignored.


⁶⁾ If the manual handling operations are not carried out in a stationary sitting, standing, kneeling, squatting, lying position, but in motion (walking, crawling), it is recommended to evaluate the sub-activity also using the KIM-BM.

⁷⁾ Please note: if this category was chosen, it is recommended to evaluate this sub-activity also using the KIM-ABPI

Work organisation / temporal distribution	Rating points
Good: frequent variation of the physical workload situation due to other activities (including other types of physical workload) / without a tight sequence of higher physical workloads within one type of physical workload during a single working day.	0
Restricted: rare variation of the physical workload situation due to other activities (including other types of physical workload) / occasional tight sequence of higher physical workloads within one type of physical workload during a single working day.	2
Unfavourable: no/hardly any variation of the physical workload situation due to other activities (including other types of physical workload) / frequent tight sequence of higher physical workloads within one type of physical workload during a single working day with concurrent high load peaks.	4

3rd step: Evaluation and assessment

Type of force exertion in the finger/hand area			
Force transfer / gripping conditions	+		
Hand/arm position and movement	+		
Unfavourable working conditions	+		
Body posture	+		
Work organisation / temporal distribution	+		
Time rating points	X	Total of indicator rating points:	= Result

The risk score calculated and the table below can be used as the basis for a rough evaluation:					
Risk	Risk range	Intensity of load ¹⁾	a) Probability of physical overload b) Possible health consequences	Measures	
	1	< 20 points	low	a) Physical overload is unlikely. b) No health risk is to be expected.	None
	2	20 - < 50 points	slightly increased	a) Physical overload is possible for less resilient persons. b) Fatigue, low-grade adaptation problems which can be compensated for during leisure time	For less resilient persons, workplace redesign and other prevention measures may be helpful.
	3	50 - < 100 points	substantially increased	a) Physical overload is also possible for normally resilient persons. b) Disorders (pain), possibly including dysfunctions, reversible in most cases, without morphological manifestation	Workplace redesign and other prevention measures should be considered.
	4	≥ 100 points	high	a) Physical overload is likely. b) More pronounced disorders and/or dysfunctions, structural damage with pathological significance	Workplace redesign measures are necessary. Other prevention measures should be considered.

¹⁾ The boundaries between the risk ranges are fluid because of the individual working techniques and performance conditions. The classification may therefore only be regarded as an orientation aid. Basically, it must be assumed that the probability of physical overload will increase as the risk scores rise.

Figura 79 - Ficha de avaliação KIM-MHO página 3.

ANEXO 5 - KIM - FICHA DE AVALIAÇÃO BODY MOVEMENT (BM)

Key Indicator Method for assessing and designing physical workloads with respect to Body Movement KIM-BM

Overview of Key Indicator Methods:

Key Indicator Method for assessing and designing physical workloads ...

- with respect to manual Lifting, Holding and Carrying of loads (KIM-LHC)
- with respect to manual Pushing and Pulling of loads (KIM-PP)
- during Manual Handling Operations (KIM-MHO)
- with respect to Whole-Body Forces (KIM-BF)
- with respect to Awkward Body Postures (KIM-ABP)
- with respect to Body Movement (KIM-BM)

as well as the respective Extended versions in a spreadsheet program (e.g. KIM-BM-E)



Photo: U. Völkner/foxfotos.de



Photo: AndreyPopov/Stock.com



Photo: Antonoffoto/Stock.com

Scope of the Key Indicator Method (KIM-BM)

- This type of physical workload concerns body movements to a place of work or in a work area, which will be assessed independently of applying increased forces.
- **Typical activities:** Transport of furniture without transport devices, transport of patients, climbing rotating cranes, transmitters, control inspections in channels, walking on construction sites and/or hydraulic construction areas, maintenance on lighting systems, maintenance on furnaces, maintenance in shafts/tanks/channels.

Distinction from other Key Indicator Methods

- If the sub-activity includes increased forces, the types of physical workload "Whole-Body Forces", "Lifting, Holding and Carrying", "Pushing and Pulling" and/or "Manual Handling Operations" must also be considered.
- If there are several different sub-activities per working day, they must be recorded and assessed separately (e.g. using KIM-BM-E). The probability of physical overload can only be assessed if all physical workloads occurring during a working day are assessed.

Form including brief instructions

Draft for practical testing – Version 12.5 – As of 04. 2019 – © BAu/ASER/ArbMedErgo/ebus

Figura 80 - Ficha de avaliação KIM-BM, página 1.

Key Indicator Method for assessing and designing physical workloads with respect to Body Movement (KIM-BM)







Workplace/sub-activity:			
Duration of the working day:		Evaluator:	
Duration of the sub-activity:		Date:	

1st step: Determination of time rating points

Total duration of the sub-activity [up to ... minutes] per working day:	up to 1	> 1 - 5	> 5 - 10	> 10 - 20	> 20 - 30	> 30 - 45	> 45 - 60	> 60 - 100	> 100 - 150	> 150 - 210	> 210 - 270	> 270 - 360	> 360 - 480
Time rating points	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	5	6	7	8	9	10

2nd step: Determination of the rating points for other indicators

A Body Movement without using equipment

Type	Description	Carried load												
		without / < 3 kg	3 ... 10 kg	> 10 ... 15 kg	> 15 ... 20 kg	> 20 ... 25 kg	> 25 ... 30 kg	> 30 ... 35 kg	> 35 ... 40 kg	> 40 kg				
	Walking	Slowly	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	25	35
		At a moderate pace (3 ... 5 km/h)	8	10	12	14	16	18	20	22	25	30	35	40
		Quickly	12	14	16	18	20	22	25	30	35	40	50	
	Climbing	Angle of inclination < 5°	10	12	14	16	18	20	22	25	30	35	50	
		Angle of inclination 5 - 15°	12	14	16	18	20	22	25	30	35	40	50	
		Angle of inclination > 15°	24	26	28	30	32	34	40	50				
	Climbing stairs	Normal stairs	18	20	22	24	26	50	100 ¹⁾					
		Steep stairs (35 ... 50°)	24	26	28	30	50	100 ¹⁾						
		Very steep stairs (> 50°)	30	32	34	50	100 ¹⁾							
	Climbing ladders	Angle of inclination 65 ... 75°	24	26	50	100 ¹⁾								
	Climbing	Angle of inclination > 80° Vertical movement on step irons, vertical ladders, manhole ladders	30	32	50	100 ¹⁾								
	Crawling ²⁾ , walking with a severe stoop	Predominantly horizontal movement in low-ceiling rooms, tunnels, maintenance platforms, channels	24	26	50	100 ¹⁾								

¹⁾ This combination of type of movement and transport of loads leads to an increased risk even with short exposure times.

²⁾ For this type of movement, the sub-activity must also be evaluated using the KIM-ABP Part C.

Location of the load centre for A	Carried load		
	3 up to 15 kg	> 15 ... 30 kg	> 30 kg
No load or load < 3 kg or load is close to the body in a carrying frame or backpack on the shoulders	0		
Load close to the body, held in the hands or carried on one shoulder	4	8	12
Load at a distance from the body, held in the hands ³⁾	8	12	16

Trunk posture for A		Carried load		
		0 up to 15 kg	> 15 ... 30 kg	> 30 kg
Trunk clearly inclined forward and/or twisting and/or lateral inclination of the trunk identifiable	Occasionally	2	4	6
	Frequently to constantly ³⁾	4	6	8

³⁾ Please note: If unfavourable arm or trunk postures occur frequently to constantly, the sub-activity must also be evaluated using the KIM-LHC (for load ≥ 3 kg) or the KIM-ABP (no load or load < 3 kg).

Unfavourable working conditions for A (Specify only where applicable. Indicators not mentioned in the tables are to be taken into account accordingly. Rare deviations can be ignored.)	Rating points	
Restricted: narrow space for movement (e.g. fall protection by means of safety cage) / reduced stability due to movable or inclined standing surface / sand / gravel path	3	
Severely restricted: freedom of movement hindered / no technical climbing aids (natural conditions) / open country	5	
Critical: freedom of movement severely hindered due to confined spaces and danger points / restricted view / no resting platforms / mountaineering / respiratory protective equipment / muddy ground	15	
Climate: extreme climatic influences, such as heat, wind, snow (graded as rarely/occasionally and frequently/constantly)	4	8
Total of "Restricted", "Severely restricted" or "Critical" and "Climate" (if applicable)		

Figura 81 - Ficha de avaliação KIM-BM, página 2.

B Body Movement when driving by muscle power

Type	Description	Load weight to be moved including transport device ⁴⁾		
		up to 50 kg	> 50 ... 150 kg	> 150 kg
	Slowly < 10 km/h	3	6	9
	At a moderate pace 10 ... 15 km/h	6	10	14
	Quickly > 15 km/h	9	15	21
Driveway - unfavourable working conditions for B (Specify only where applicable. Indicators not mentioned in the tables are to be taken into account accordingly. Rare deviations can be ignored.)		Load weight to be moved including transport device ⁴⁾		
Driveway restricted: earth or roughly cobbled driveway, potholes, heavy soiling, temporary ascents		8	12	16
Climate: extreme climatic influences, such as heat, wind, snow		rarely/occasionally	frequently/constantly	
		4	8	
Total				

⁴⁾ If supported by electric operation, the rating points must be divided in half.

Work organisation / temporal distribution	Rating points
Good: frequent variation of the physical workload situation due to other activities (including other types of physical workload) / without a tight sequence of higher physical workloads within one type of physical workload during a single working day.	0
Restricted: rare variation of the physical workload situation due to other activities (including other types of physical workload) / occasional tight sequence of higher physical workloads within one type of physical workload during a single working day.	2
Unfavourable: no/hardly any variation of the physical workload situation due to other activities (including other types of physical workload) / frequent tight sequence of higher physical workloads within a type of physical workload during a working day with concurrent high load peaks.	4

3rd step: Evaluation and assessment

<p>A: Body movement without using equipment</p> <p>Location of the load centre (only for A, otherwise 0) +</p> <p>Twisting and/or lateral inclination of the trunk (only for A, otherwise 0) +</p> <p>Unfavourable working conditions (only for A, otherwise 0) +</p> <p>B: Body movement when driving by muscle power</p> <p>Driveway (only for B, otherwise 0) +</p> <p>Work organisation / temporal distribution A and B +</p>	<div style="border: 1px solid black; width: 30px; height: 30px; margin: 5px auto;"></div> <div style="border: 1px solid black; width: 30px; height: 30px; margin: 5px auto;"></div> <div style="border: 1px solid black; width: 30px; height: 30px; margin: 5px auto;"></div> <div style="border: 1px solid black; width: 30px; height: 30px; margin: 5px auto;"></div> <div style="border: 1px solid black; width: 30px; height: 30px; margin: 5px auto;"></div> <div style="border: 1px solid black; width: 30px; height: 30px; margin: 5px auto;"></div> <div style="border: 1px solid black; width: 30px; height: 30px; margin: 5px auto;"></div> <div style="border: 1px solid black; width: 30px; height: 30px; margin: 5px auto;"></div>	<p>Results</p> <p>In case of female employees x 1.3</p>				
<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Time rating points</div>	x	Total of indicator rating points: <div style="border: 1px solid black; width: 30px; height: 30px; display: inline-block;"></div>	=	<div style="border: 2px solid black; width: 30px; height: 30px; display: inline-block;"></div>	x 1.3	<div style="border: 2px solid black; width: 30px; height: 30px; display: inline-block;"></div>

The risk score calculated and the table below can be used as the basis for a rough evaluation:

Risk	Risk range	Intensity of load ⁷⁾	a) Probability of physical overload b) Possible health consequences	Measures	
	1	< 20 points	low	a) Physical overload is unlikely. b) No health risk is to be expected.	None
	2	20 - < 50 points	slightly increased	a) Physical overload is possible for less resilient persons. b) Fatigue, low-grade adaptation problems which can be compensated for during leisure time	For less resilient persons, workplace redesign and other prevention measures may be helpful.
	3	50 - < 100 points	substantially increased	a) Physical overload is also possible for normally resilient persons. b) Disorders (pain), possibly including dysfunctions, reversible in most cases, without morphological manifestation	Workplace redesign and other prevention measures should be considered.
	4	≥ 100 points	high	a) Physical overload is likely. b) More pronounced disorders and/or dysfunctions, structural damage with pathological significance	Workplace redesign measures are necessary. Other prevention measures should be considered.

⁷⁾ The boundaries between the risk ranges are fluid because of the individual working techniques and performance conditions. The classification may therefore only be regarded as an orientation aid. Basically, it must be assumed that the probability of physical overload will increase as the risk scores rise.

Figura 82 - Ficha de avaliação KIM-MB, página 3.

Materials and Technologies

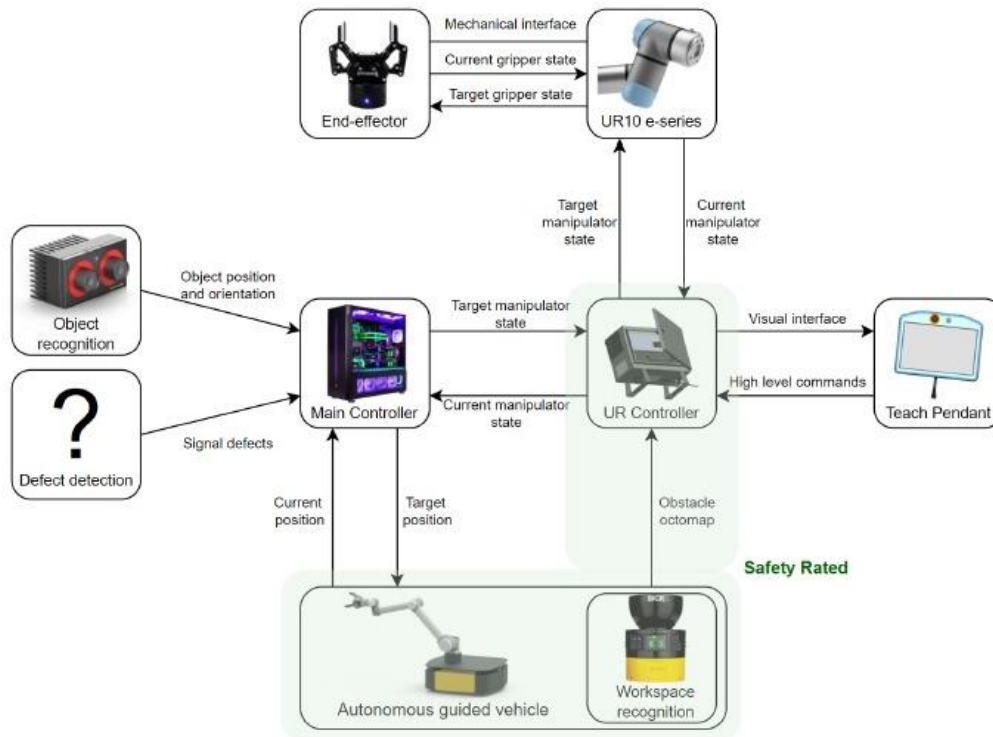


Figura 83 - Arquitetura do sistema robótico.